

Vysoká škola báňská – Technická univerzita
Ostrava
Univerzitní studijní programy

**Návrh modelu struktury vnitřní diagnostiky elektronických systémů
elektromobilu**

**Design of Internal Diagnosis Structure Model of Electronic Systems for
Electric Car**

2013

Bc. Jiří Takáč

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Takáč**

Studijní program: N3943 Mechatronika

Studijní obor: 3906T007 Automobilová elektronika

Téma: **Návrh modelu struktury vnitřní diagnostiky elektronických systémů elektromobilu**
Design of Internal Diagnosis Structure Model of Electronic Systems for Electric Car

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te návrh modelu palubní elektronické sítě s uvažováním stěžejních elektronických systémů důležitých pro provoz elektromobilu.
2. Proved'te návrh modelu řídicí jednotky vybraného elektronického systému se zaměřením na využití diagnostických funkcí. Stanovte vhodný prostředek pro komunikaci v rámci palubní sítě.
3. Realizujte částečný model palubní elektronické sítě a ověřte fyzickou funkčnost teoretického návrhu.
4. Stanovte instrukce pro budoucí integraci navržené struktury pro využití v elektromobilu.

Seznam doporučené odborné literatury:

VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6

VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9

ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004

ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1

RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3


BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2009

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**


Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013



doc. Ing. Petr Paláček, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Petr Noskovič, CSc.
prorektor pro studium

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne

vlastnoruční podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odborné připomínky a rady, kterými mi dopomohl k vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce „Návrh modelu struktury vnitřní diagnostiky elektronických systémů elektromobilu“ se zabývá návrhem elektronických systémů, palubní sítě elektromobilu, detekcí a ukládáním chyb. V první části je uveden přehled komunikačních sběrnic, které lze dnes v automobilech nalézt. Dále je proveden návrh struktury palubní sítě s návrhem řešení dílčích systémů. Součástí této kapitoly je také přehled množností diagnostiky závad snímačů a akčních členů. Také je uveden přehled možných chyb u jednotlivých systémů a jejich kódové označení. V předposlední kapitole je popsán vybraný řídicí procesor rozšiřujícími periferiemi. Dále je uveden stručný popis operačního systému, ve kterém budou implementovány jednotlivé software k řízení systémů a softwarové řešení CAN protokolu. Poslední část práce se zbývá popisem možných veličin zasílaných na sběrnici, jejich časovou posloupností a ověřením funkčnosti systému.

Klíčová slova

CPU, MQX, operační systém, řídicí jednotka, diagnostika, sběrnice, CAN

Abstrakt

This work “Design of Internal Diagnosis Structure Model of Electronic Systems for Electric Car” deals with design of electronics system of car network and internal diagnostics. In first part is shown brief survey on car busses. Next part contains a design of car system unit connection and design of each particular part. In this part are shown as well methods of possibility of diagnostics with possible errors and their codes. The fourth part deals with software implementation of CAN protocol, memory organisation for error codes and description used electronic unit. In last part are shown transmitted data from each unit and the test of whole system.

Key words

CPU, MQX, operating system, control unit, diagnostics, bus, CAN

Seznam použitých zkratek a symbolů

ABS	–	Protiblokovací systém
ACD	–	Oddělovač potvrzení
ACK	–	Potvrzení
ADC	–	Analogově-digitální převodník
B	–	Bajt (byte), datová jednotka
BM	–	Označení vodiče FlexRay sběrnice (bus minus)
BP	–	Označení vodiče FlexRay sběrnice (bus plus)
C	–	Označení kapacitoru
CAN	–	Controller Area Network
CAN-H	–	Označení vodiče CAN sběrnice
CAN-L	–	Označení vodiče CAN sběrnice
CPU	–	centrální procesorová jednotka
DAC	–	Digitálně-analogový převodník
ECU	–	Elektronická řídicí jednotka
ERC	–	Oddělovač kontrolního součtu
ESP	–	Elektronický stabilizační program
I2C	–	Interní datová sběrnice
IDE	–	Identifikátor rozšířeného identifikátoru
JTAG	–	Programovací konektor/protokol
LCD	–	displej z tekutých krystalů
LED	–	světlo vyzařující dioda
LIN	–	Sběrnice místního propojení
MCU	–	Mikrokontrolér
MOST	–	Multimediální optická sběrnice
MQX	–	Operační systém firmy Freescale
NEXUS	–	Programovací konektor/protokol
OS	–	Operační systém
OSBDM	–	Programovací konektor/protokol
PC	–	Osobní počítač
PWM	–	Pulsně šířková modulace

R	–	Označení rezistoru
r0	–	Rezervní bit CAN protokolu
r1	–	Rezervní bit CAN protokolu
RS232	–	Sériová linka
RS485	–	Diferenční sériová linka
RTR	–	Požadavek odeslání odpovědi
Rx	–	Přijímací linka
ŘJ	–	Řídicí jednotka
SOF	–	Start přenosového rámce
SPI	–	Sériová komunikace pro periferie
SRAM	–	Statická paměť
SRR	–	Nahrazující bit požadavku
Tx	–	Vysílací linka
UART	–	Univerzální asynchronní sériová komunikace
USB	–	Univerzální sériová sběrnice
Vcc	–	Označení napájení
VDC	–	Označení stejnosměrného napájecího napětí

Obsah

1	Úvod	1
2	Palubní síť	2
2.1	K-line	2
2.2	LIN	4
2.3	CAN	8
2.4	FlexRay	12
2.5	MOST	17
3	Řešení struktury palubní sítě s diagnostickými funkcemi	19
3.1	Návrh struktury	19
3.2	Důležité elektronické systémy	20
3.2.1	Jednotka komunikace	20
3.2.2	Okruh pohonu	21
3.2.3	Okruh podvozkového systému	22
3.2.4	Okruh řízení	24
3.2.5	Okruh osvětlení	25
3.3	Diagnostické funkce self diagnostiky	26
3.3.1	Diagnostika snímačů	27
3.3.2	Diagnostika akčních členů	27
3.4	Chybové stavy, kódy	28
3.4.1	Pohon	28
3.4.2	Řízení	29
3.4.3	Podvozek	30
3.4.4	Světla	32
3.4.5	Komunikační jednotka	33
4	Návrh elektroniky a softwarová implementace	34
4.1	Elektronický systém	34
4.1.1	Popis procesorové desky	34
4.1.2	Modul vstupů/výstupů	35
4.1.3	Senzorický modul	36
4.2	Softwarová implementace	37
4.2.1	Popis operačního systému	37
4.2.2	Nastavení a implementace OS	38
4.2.3	Implementace CAN protokolu	38
4.2.4	Implementace softwarové diagnostiky	40
5	Struktura přenášených dat a ověření systému	42
5.1	Přenášaná data	42
5.2	Ověření systému	44
6	Závěr	47
7	Citovaná literatura	48

1 Úvod

S rostoucí spotřebou přírodních zdrojů pro pohon vozidla, se dostává do popředí vývoj vozidel poháněných pomocí elektromotorů. Elektromotory slouží buď jako pomocné motory, při nízkých rychlostech vozidla, popřípadě při požadavku k dodání vyššího výkonu na krátkou dobu. Tím dochází ke snižování spotřeby benzínu či nafty. Nebo jako hlavní a jediný pohon vozidla.

Elektromotory mohou být napájeny z různých zdrojů. Nejznámějším a nejpoužívanějším zdrojem jsou olověné případně lithiové baterie. Dalším zdrojem může být spalovací motor ve funkci generátoru elektrické energie.

Tomuto kroku předcházela rozvoj elektroniky pro řízení a regulaci procesů spalovacího motoru. Spalovací motor vyžaduje řadu složitých systémů. Zároveň s rozvojem elektroniky ve vozidle došlo k rozvoji vlastní diagnostiky systémů vozidla s uvědoměním řidiče o případné závadě. Také se rozvinula servisní diagnostika s externími diagnostickými zařízeními, schopnými zobrazovat aktuální hodnoty měřené různými snímači ve vozidle, možnost testovat a ovládat akční členy vozidla, ke zjištění jejich správné funkce a podobně.

Zároveň s těmito požadavky také rostou nároky na rychlost a objem přenášených dat mezi jednotkami. Díky tomu dochází ke zdokonalování komunikačních sběrnic.

2 Palubní síť

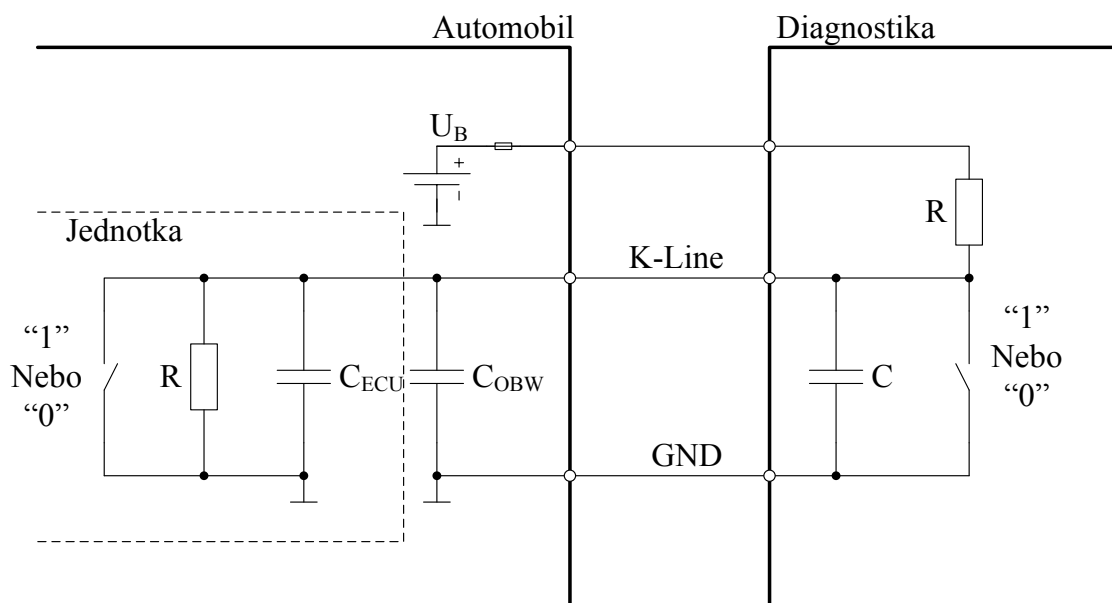
Součástí palubní sítě je řešení regulace napájení, napájení jednotek a komunikaci mezi jednotkami. V této kapitole bude rozebrán přehled komunikačních sběrnic užitých ve vozidlech. Popsáno bude od prvotní sběrnice K-Line, která se ještě do nedávna hojně využívala ve vozidlech především ke komunikaci s diagnostickým zařízením. Nástupcem K-Line je sběrnice LIN. Tato jednovodičová sběrnice se ještě stále využívá ke komunikaci inteligentních senzorů s řídicími jednotkami, nebo také u komfortních systémů jako je například elektronické stahování oken. S nárůstem počtu elektronických systémů a nároků na vyšší bezpečnost byla vyvinuta dvouvodičová diferenční sběrnice CAN.

V dnešní době, kdy je ve vozidle implementován velký počet snímačů, a jsou kladeny velké nároky na bezpečnost, roste množství přenášených dat po sběrnici. Tím došlo k rozvinutí CAN protokolu na FlexRay. Dnes se také začíná rozšiřovat optická sběrnice MOST sloužící výhradně pro komfortní systémy a k přenosu audiovizuálních dat.

Přenos dat mezi jednotkami je dán především z důvodu ulehčení systémům a zbytečností výpočtu a měření stejných dat více jednotkami. Takhle jedna jednotka vypočte například otáčky motoru a předá je na sběrnici, odkud si je přečte kterákoli jednotka, která je potřebuje.

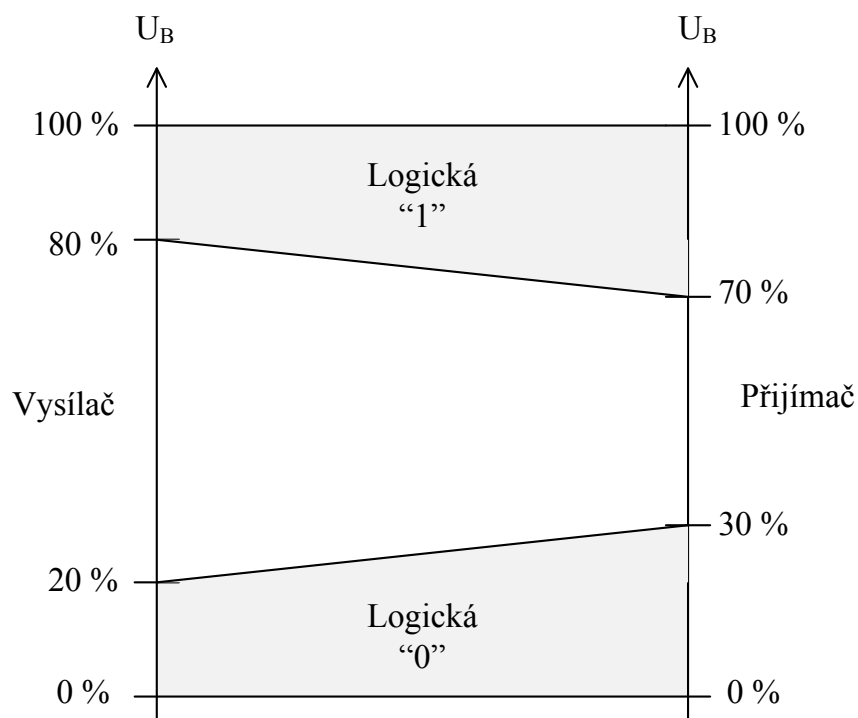
2.1 K-line

Jedná se především o diagnostické vedení definované normou ISO 9141-2. Komunikace probíhá po jednom vodiči. Na následujícím obrázku (obr. 1) je schéma propojení diagnostického zařízení s automobilem. Odtud je poznat stav dominantní, tedy logické 0, ten nastane sepnutím spínače, nebo stav recesivní (logická 1), když je spínač rozepnut.



Obr. 1 Propojení diagnostiky a automobilu přes K-Line

Napěťové úrovně logických stavů na sběrnici jsou zřejmé z obr. 2. Logické 1 odpovídá u vysílače 80 až 100 % napětí baterie a pro přijímač to je 70 až 100 %. Pro logickou 0 odpovídá 0 až 20 % napětí baterie u vysílače. U přijímače je to o 10 % více. Větším rozsahem napětí pro logickou 1 u přijímače se eliminují případné menší ztráty způsobeny kontakty a délkou vedení. U logické 0 je větší rozsah napětí dán z důvodu možného nesuperponování šumu a mohlo by dojít ke ztrátě informace.

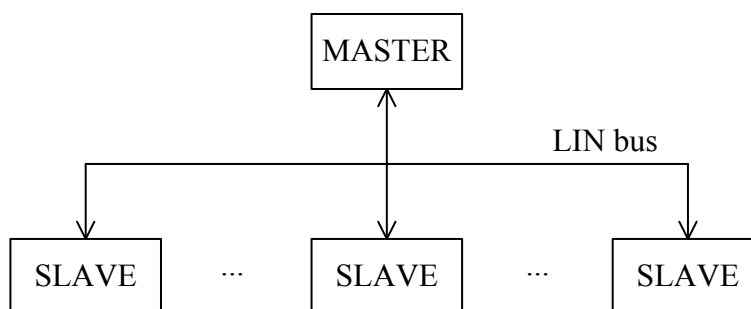


Obr. 2 Napěťové úrovně K-Line

Pro úspěšné navázání komunikace je potřeba udržet sběrnici po dobu alespoň 2 milisekund ve stavu logické 1. Poté dojde k odeslání adresního rámce rychlostí 5 bitů/s. Data se odesílají od nejméně významového bitu. Následně se odešle synchronizační bajt při rychlosti 10,4 kbit/s, ve kterém se střídá stav logické 1 a 0. Poté dojde k odeslání sedmibitových klíčových slov a následně se mohou přenášet data.

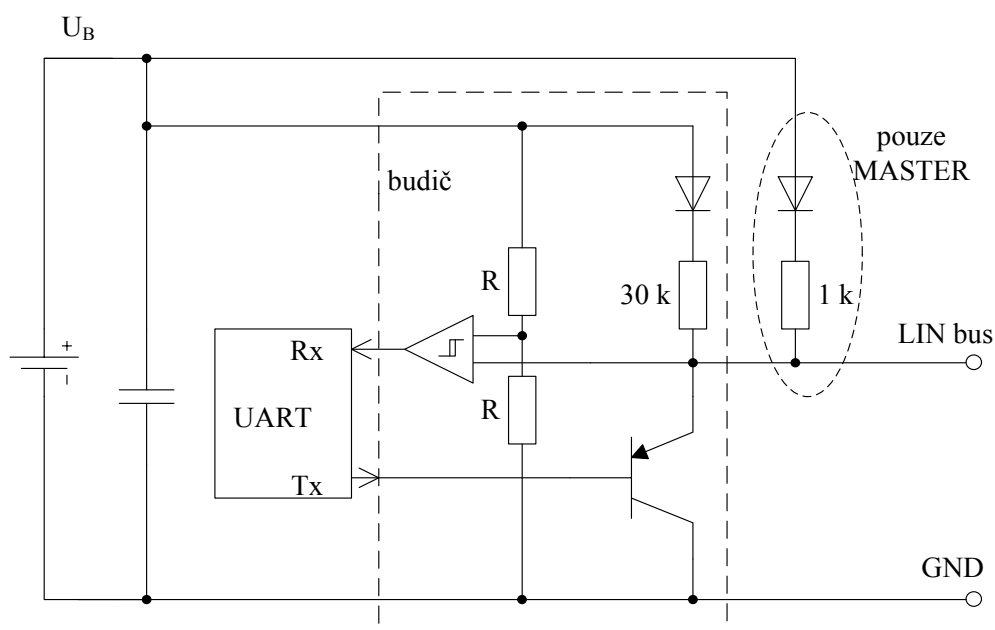
2.2 LIN

Jedná se o jednovodičovou komunikaci, založenou na asynchronní UART komunikaci typu MASTER-SLAVE. Převážně se využívá pro komunikaci jednotek se snímači nebo akčními členy. Dovoluje připojení až 16 jednotek SLAVE a jedné MASTER.



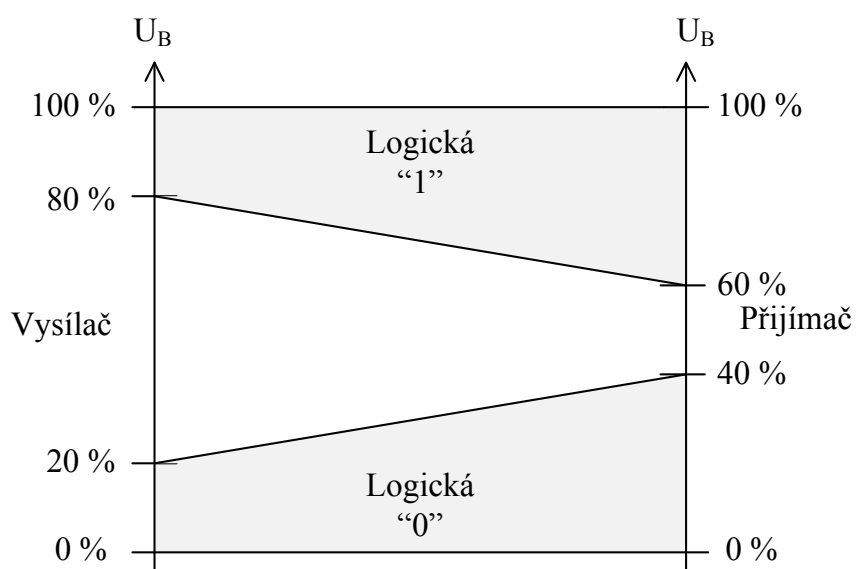
Obr. 3 Struktura zapojení jednotek

Přenosová rychlost je maximálně 19 200 bit/s, je to dáno komunikací po jednom vodiči a odolností proti rušení. Tím je také definovaná strmota hran na 2 V/ μ s. Sběrnice je napájena z napětí baterie přes rezistor a diodu. Struktura zapojení budiče je na obr. 4. Odtud vyplývá, že dominantní stav na sběrnici je logická nula. Při sepnutí tranzistoru, dojde k přizemnění vodiče sběrnice. Když by nějaká jiná jednotka chtěla vyslat logickou jedničku, došlo by k jejímu stažení na nulu. Ze zapojení je patrné, že napájení sběrnice je u MASTER jednotky tvrdší (přes 1 k Ω rezistor). Kdežto u SLAVE jednotek je napájení o něco měkčí přes 30 k Ω rezistor.



Obr. 4 Schéma budiče

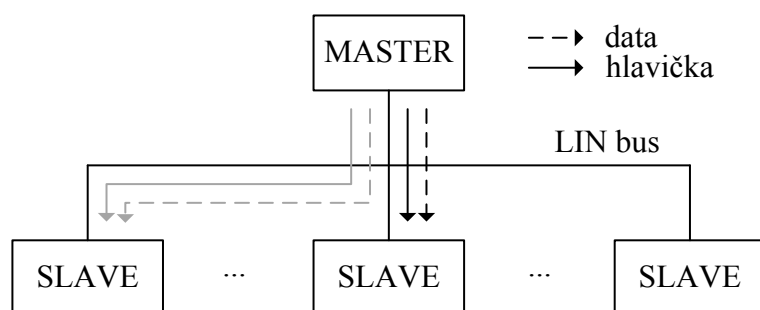
Toleranční pásmo logických úrovní je téměř shodné jako u K-Line. Liší se pouze větším rozptylem u přijímače, a to o deset procent pro obě úrovně.



Obr. 5 Napětíové úrovně

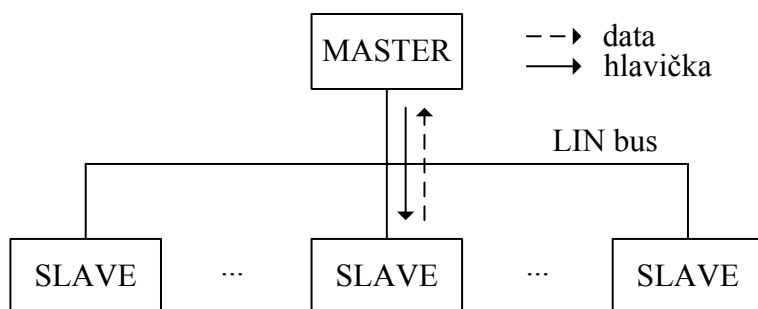
Master jednotka řídí veškerou komunikaci na sběrnici a díky pevné časové základně udává synchronizační stopy. Možností komunikace jsou MASTER-SLAVE, SLAVE-MASTER a SLAVE-SLAVE.

Při komunikaci MASTER-SLAVE vyšle MASTER jednotka hlavičku zprávy a data a příslušná SLAVE jednotka si podle hlavičky tyto data uchová.



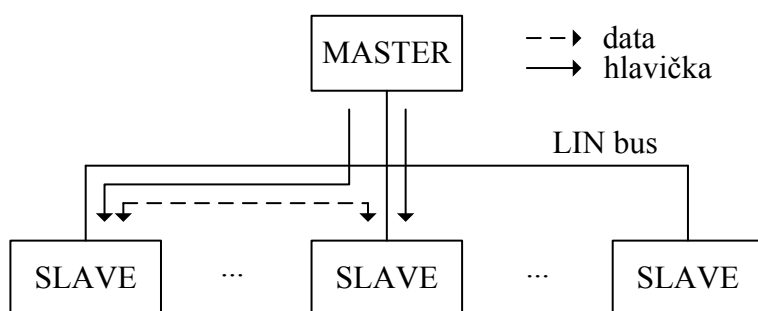
Obr. 6 MASTER-SLAVE

U komunikace SLAVE-MASTER zašle MASTER jednotka hlavičku na sběrnici, kterou adresuje SLAVE jednotku a ta posléze předá MASTER jednotce vyžádaná data.



Obr. 7 SLAVE-MASTER

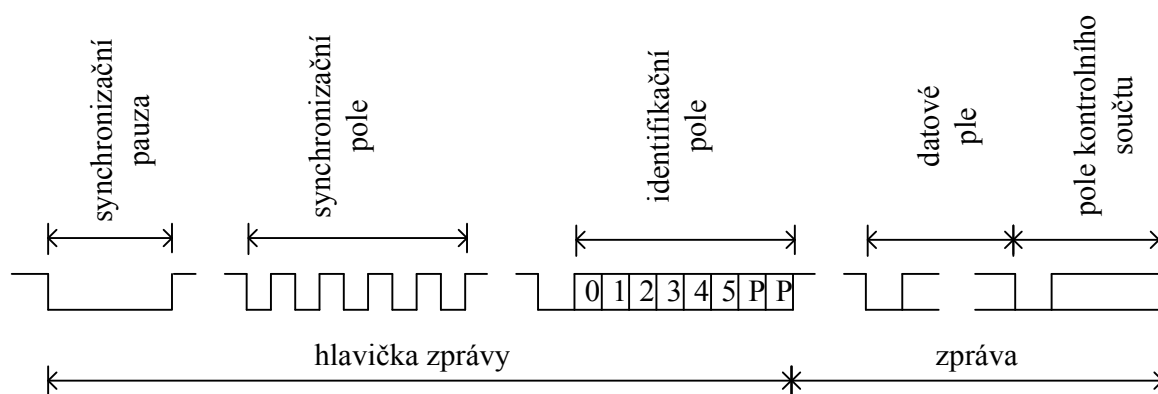
Komunikace SLAVE-SLAVE opět řídí MASTER jednotka. Vyšle hlavičku, podle které SLAVE jednotka rozpozná, která data má vyslat, a která SLAVE jednotka si má tyto data zpracovat.



Obr. 8 SLAVE-SLAVE

Tím, že se jedná o UART protokol, odesílají se data vždy po bajtech. Samotná komunikace se dělí na dvě části hlavička (frame header) a datový rámeček (data frame) popřípadě rámeček odpovědi (response frame). Na začátku zprávy se vyšle synchronizační pauza o délce alespoň 13 bitů. Vzhledem k UART komunikaci, kde se vysílá maximálně 9 bitů (8 bitů data a jeden paritní bit), je problém vyslat 13 bitů. Toho lze docílit například snížením rychlosti komunikace u MASTER jednotky, kdy SLAVE jednotky mohou těch 9 bitů přechíst jako 13 bitů. O rozkódování se postará LIN driver. Poté následuje synchronizační pole o délce 8 bitů. Zde si SLAVE jednotka spočte dobu od první sestupné hrany (Start bit) po pátou sestupnou hranu (tomu odpovídá 7 bit) a podělí osmi, čímž získá baudrate komunikace. Poslední částí hlavičky, je identifikační pole. Na jeho základě se určí, kdo bude data vysílat, o jaké velikosti a kdo je přijme. Identifikační pole se skládá z 6 bitového identifikátoru, kde poslední dva bity představují počet následně vyslaných

datových bajtů a dvou paritních bitů. Datový rámeček může obsahovat 0 až 8 bajtů a je následován kontrolním součtem. [1]

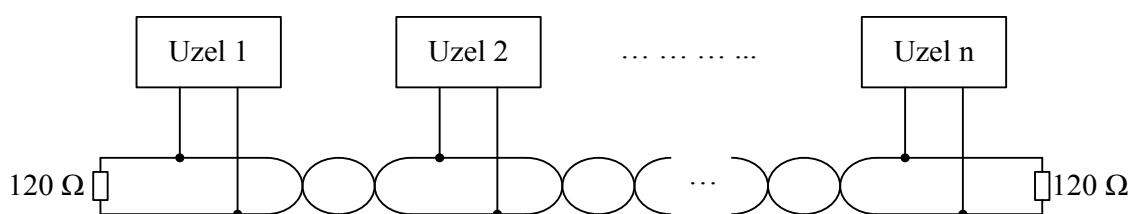


Obr. 9 Zpráva LIN

2.3 CAN

Sběrnice CAN je definována normou ISO 11898, ve které je uvedena specifikace pro CAN 2.0A, která byla později rozšířena na CAN 2.0B. Standard B udává dva druhy komunikačního protokolu a to standardní a rozšířený formát. Tyto formáty se liší ve velikosti identifikátoru zprávy. V této normě je definována pouze linková a fyzická vrstva ISO/OSI modelu.

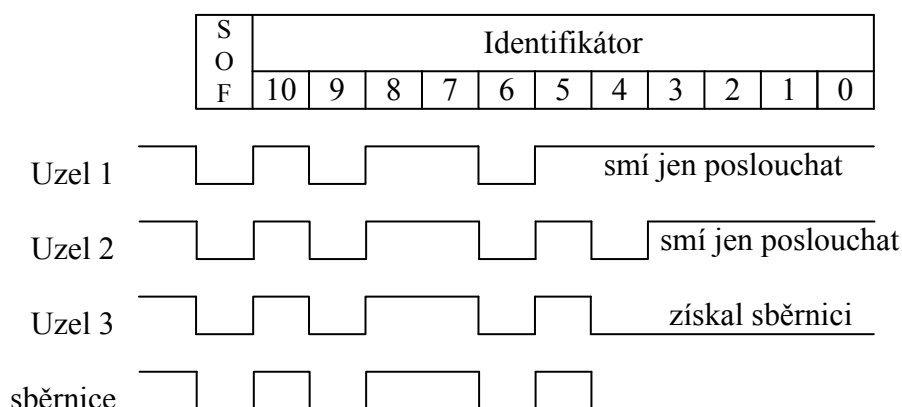
Fyzická vrstva CAN sběrnice je tvořena kroucenou dvojlinkou. Jakožto sběrnice systém, je vedení na každém konci ukončeno terminačními $120\ \Omega$ odpory. Vodiče na sběrnici se označují CAN-High (CAN-H) a CAN-Low (CAN-L). Ke sběrnici může být připojeno až 110 uzlů. Přehled struktury systému je na následujícím obrázku.



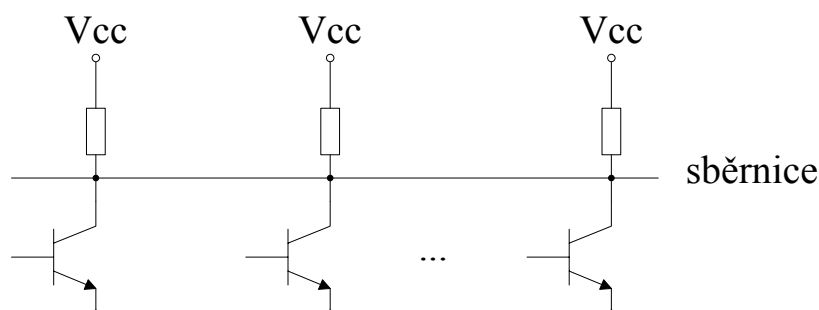
Obr. 10 Zapojení jednotek na sběrnici

Sběrnice přenáší dvě logické úrovně. Úroveň dominantní a recesivní. To znamená, když jednotka vyšle dominantní bit, dojde ke stažení komunikační linky na nulu. Kdyby

v tuto chvíli vyslal kterýkoli jiný uzel recesivní bit (stav logické 1) došlo by k jeho stažení na nulu. Tímto je tedy řízen přístup na sběrnici. Řízení probíhá na základě hodnoty identifikátoru. Čím je identifikátor menší (hodnota blíže nule), tím má jednotka větší prioritu.



Obr. 11 Řízení přístupu na sběrnici



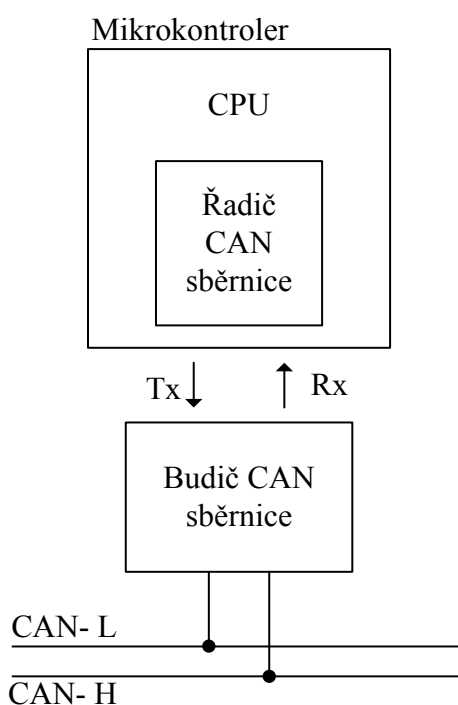
Obr. 12 Znázornění fyzikálního principu CAN

Napěťové úrovně dominantního stavu jsou u vodiče CAN-H 3,5 až 5 V a u vodiče CAN-L 0 až 1,5 V. V případě recesivního stavu je na obou vodičích polovina napájecího napětí 2,5 V. Komunikační rychlost se odvíjí od délky sběrnice. Pro maximální rychlost 1 Mbit/s je udávána délka maximálně 40 m. S rostoucí délkou pak maximální dovolená rychlost komunikace klesá. Přehled komunikační rychlosti v závislosti na délce je znázorněn na následující tabulce. [2]

Tab. 1 Komunikační rychlosti CAN

Komunikační rychlost	Délka sběrnice	Komunikační rychlost	Délka sběrnice
1 Mbit/s	40 m	125 kbit/s	560 m
500 kbit/s	130 m	20 kbit/s	3,3 km

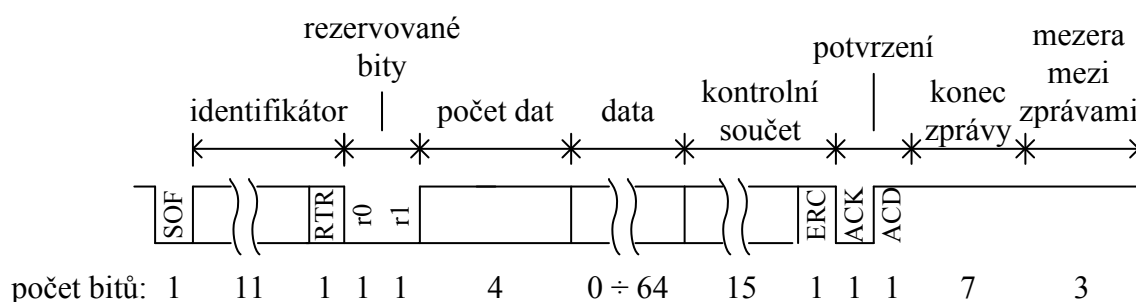
Připojení jednotek ke sběrnici je proveden pomocí budičů sběrnice, které vysílají informace od řadiče sběrnice. To znamená, že budič představuje zesilovač a převodník logických úrovní k přizpůsobení dat na sběrnici. Řadič sběrnice se stará o linkovou vrstvu a zabaluje data přijata od procesoru do stanoveného datového rámce, popřípadě rozbaluje přijatá data ze sběrnice na jednotlivé části a předává řídicímu procesoru. V dnešní době je již řadič implementován v mikroprocesorech.



Obr. 13 Připojení jednotky ke sběrnici

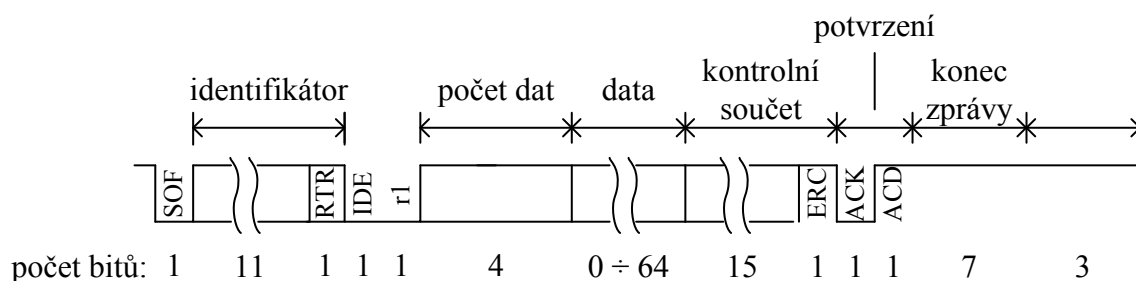
Datový rámec se skládá z několika částí, start bitu (SOF), identifikátoru, ten je odlišný pro CAN 2.0A a CAN 2.0B, kontrolního pole, datového pole, pole kontrolního součtu, potvrzovacího pole a ukončovací části.

Identifikátor pro normu A je kratší a skládá se z 12 bitů, kde prvních 11 bitů udává adresu daného uzlu a 12. bit rozlišuje, zda se jedná o požadavek či data. Poté jsou dva rezervované bity. Ty jsou ve stavu dominantním. Dále následuje kontrolní pole, které udává, kolik bajtů se bude odesílat v datovém poli. Další částí je zmíněné datové pole, které se skládá až z osmi bajtů. Zde jsou data přenášena od nejvýše významového bitu. Po odeslaných datech se odešle pole kontrolního součtu. Zde se jedná o kontrolu odeslaných dat už od startovacího bitu. Za kontrolním součtem je ještě jeden bit ve stavu logické 1 (ERC), jako oddělovač kontrolního součtu od potvrzení. Dále je vyslán potvrzovací bit (ACK) a oddělovač potvrzení (ACD). Poslední částí je konec bloku skládající se ze sedmi bitů s úrovní logické 1 a tříbitová mezera mezi zprávami. [3]

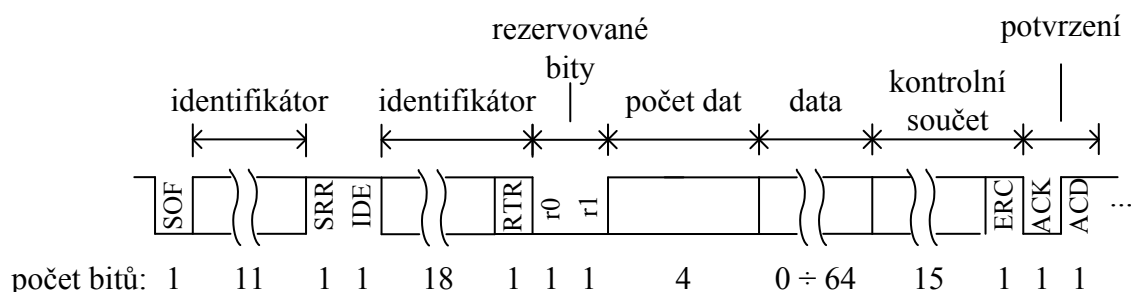


Obr. 14 Struktura datového rámce CAN 2.0A

U normy B má identifikátor celkem 31 bitů a je rozdělen do dvou částí. Prvních 11 bitů, je shodných se standardním formátem, pak následují dva stavové bity. Bit SRR, který je vždy ve stavu recesivním a IDE bit, který informuje o tom, zda se bude vysílat i rozšířený identifikátor. Pokud se jedná o standardní formát, je IDE bit v dominantním stavu následován jedním rezervním bitem. Zbytek zprávy je shodný s normou A. V případě rozšířeného formátu je IDE v recesivním stavu, s následným odesláním zbytku identifikátoru. Zbyla část zprávy je opět shodná se standardem CAN 2.0A.



Obr. 15 Struktura datového rámce CAN 2.0B standard



Obr. 16 Struktura datového rámce CAN 2.0B rozšířený

2.4 FlexRay

Nasazení sběrnice FlexRay má původ v možnosti zrušení mechanických vazeb mezi systémy a nahrazení je elektronickými. Jedná se tedy o systémy X-by-Wire, především o řízení či brzdění. Sběrnice FlexRay je moderní řešením přenosu dat mezi jednotkami s vysokou bezpečností, přenosovou rychlostí a datovým tokem.

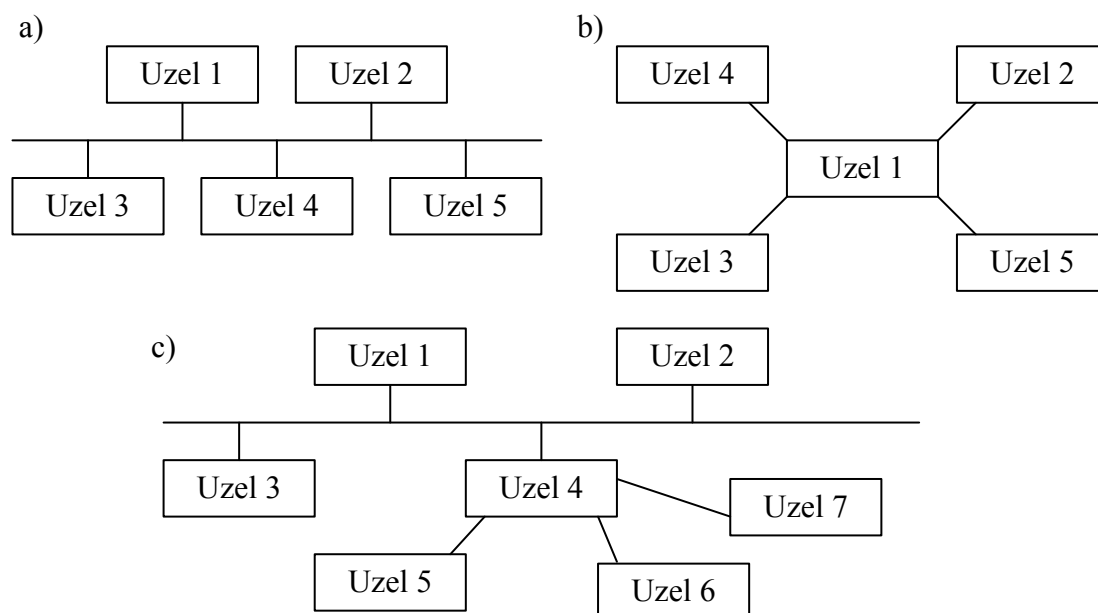
Tab. 2 Srovnání sběrnic

Sběrnice	LIN	CAN	FlexRay
Přenosová rychlost	19,2 kbit/s	1 Mbit/s	10 Mbit/s
Počet vodičů	1	2	2 nebo 4
Použití	snímače, elektronika karoserie (zrcátka, sedadla apod.)	pohon (motor, převodovka, ABS)	výkonný pohon, bezpečnost (X-by-Wire, aktivní odpružení, tempomat)

K propojení jednotek se využívá, stejně jako u CAN sběrnice, kroucené dvojlinky, po které se přenáší diferenční signál (bus plus BP, bus minus BM). Sběrnice umožňuje

připojení jednoho nebo dvou kanálů, kde na jeden kanál připadá jedna dvojlinka. Využitím dvou kanálů získáme vyšší bezpečnost nebo rozšíření datového pásma. Sběrnici je potřeba také terminovat a to odpory o hodnotě 80 až 110 ohmů.

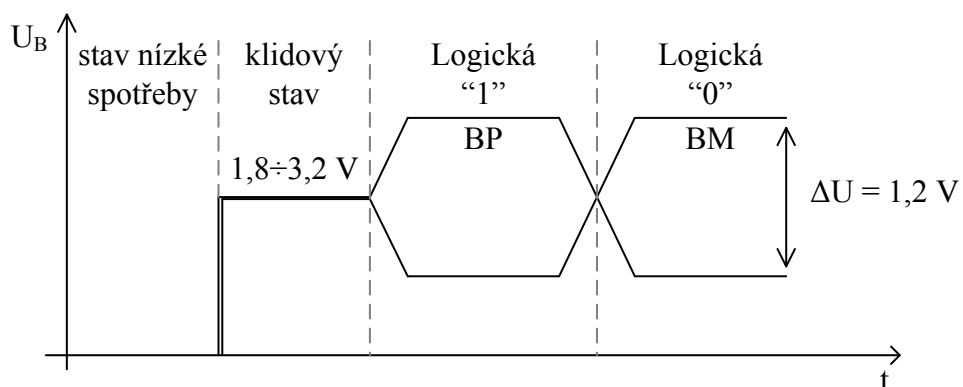
Zapojení uzlů může být řešeno do tří systémů, standardní sběrnice zapojení, zapojení do hvězdy a hybridní uspořádání. Standardní zapojení je nejpoužívanějším typem zapojení uzlů, jelikož stačí pouze jeden vodič, kterým se propojí veškeré uzly. Právě v tomto zapojení potřebuje být sběrnice zakončena terminačními rezistory. Výhoda tohoto zapojení spočívá v jednoduchosti propojení všech jednotek od jedné k druhé. Hvězdicové zapojení vyžaduje centrální aktivní jednotku, ke které se připojí ostatní uzly. Toto zapojení disponuje vyšší spolehlivostí. To znamená, nastane-li problém na některém z uzlů, ostatní uzly mohou dále komunikovat, jelikož nejsou na stejném vedení. Také je odolnější na rušení, protože spojení mezi uzly není provedeno jedním dlouhým vodičem, nýbrž několika kratšími. Poslední uspořádání je hybridní. Takle topologie spojuje obě výše uvedené metody, a tedy přebírá výhody obou zapojení.



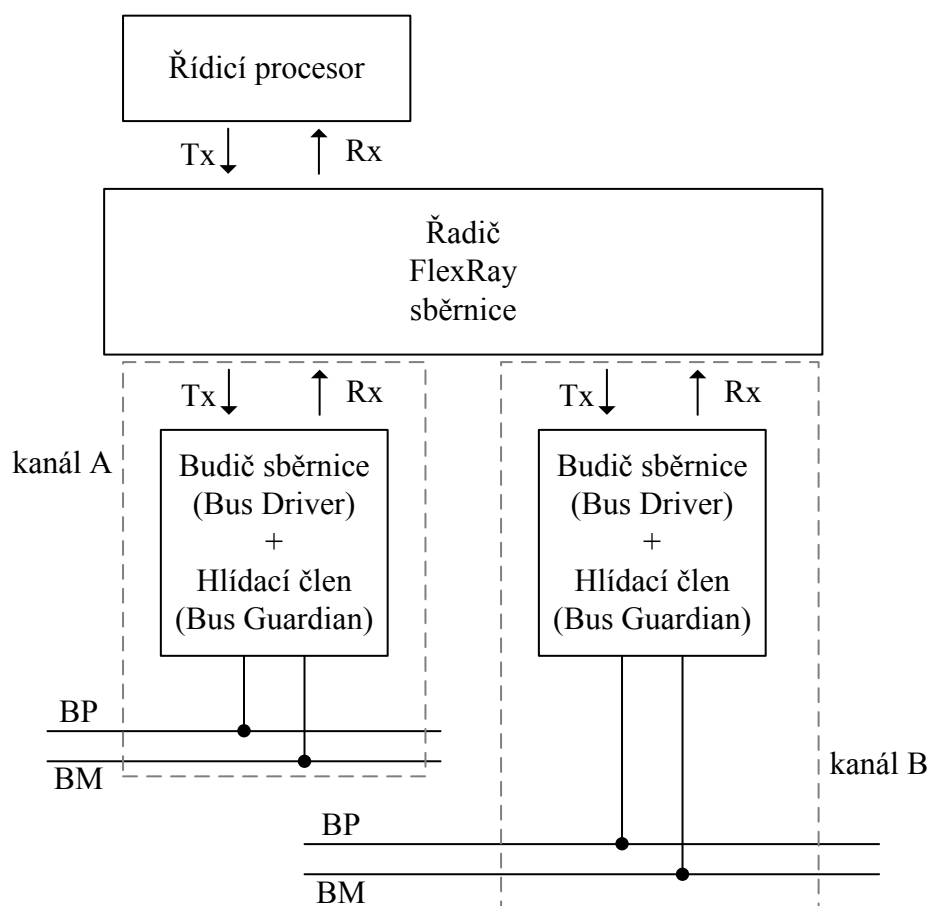
Obr. 17 Zapojení uzlů FlexRay: a) Standardní, b) Hvězda, c) Hybridní

Napěťové úrovně na sběrnici mohou nabývat čtyř hodnot. Vypnutá sběrnice, nebo stav nízkého odběru, je tehdy je-li na obou vodičích nulové napětí. Dále je stav klidu

(vyčkávání), zde je napětí na vodičích 1,8 až 3,2 V a poté logické úrovně 0 a 1, kde je rozdíl napětí mezi vodiči $\pm 1,2$ V.

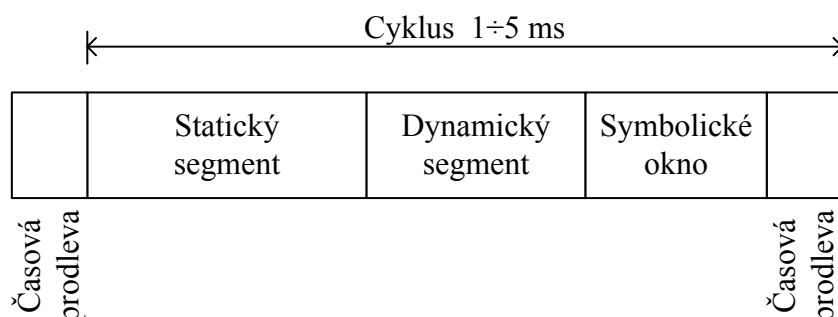


Obr. 18 Napěťové úrovně FlexRay

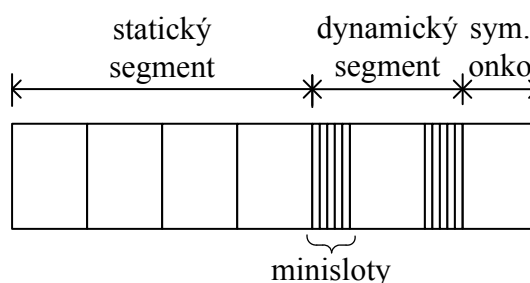


Obr. 19 Připojení uzlu na sběrnici

Komunikace na sběrnici probíhá v cyklech. Každý cyklus je rozdělen na čtyři úseky a může trvat od jedné do pěti milisekund. Řídící jednotky mohou svá data odeslat ve dvou možných částech cyklu přenosu. Těmito částmi je část statická, kde se odesílají zprávy s velkou prioritou a část dynamická, kde se odesílají data méně důležitá, která nemusí být v každém cyklu odeslána. Další částí cyklu je symbolické okno a klidový stav. Symbolické okno slouží pro správu sítě a udávání startu sítě. Klidový stav je vyhrazen pro synchronizaci hodin mezi uzly.

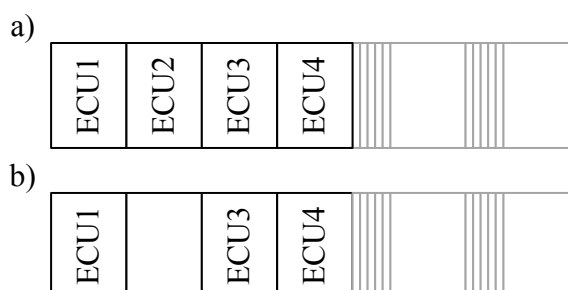


Obr. 20 Cyklus FlexRay



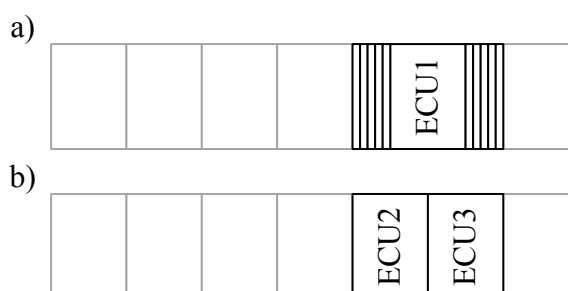
Obr. 21 Stavba cyklu sběrnice FlexRay

Statický segment je rozdělen do několika slotů podle počtu jednotek, které potřebují odeslat důležitá data. Vzhledem k tomu, že každý slot nastane v přesně danou dobu, má jemu přiřazena jednotka čas odeslat svá data než slot skončí. Další šanci k odeslání dat bude mít až v dalším cyklu. Díky tomuto přesnému odměřování času je také známá informace o stáří dat. Pokud by došlo k vypnutí některé z jednotek, nebo by jednotka data neodeslala, nebude daný slot zaplněn jinou jednotkou, ale zůstane prázdný.



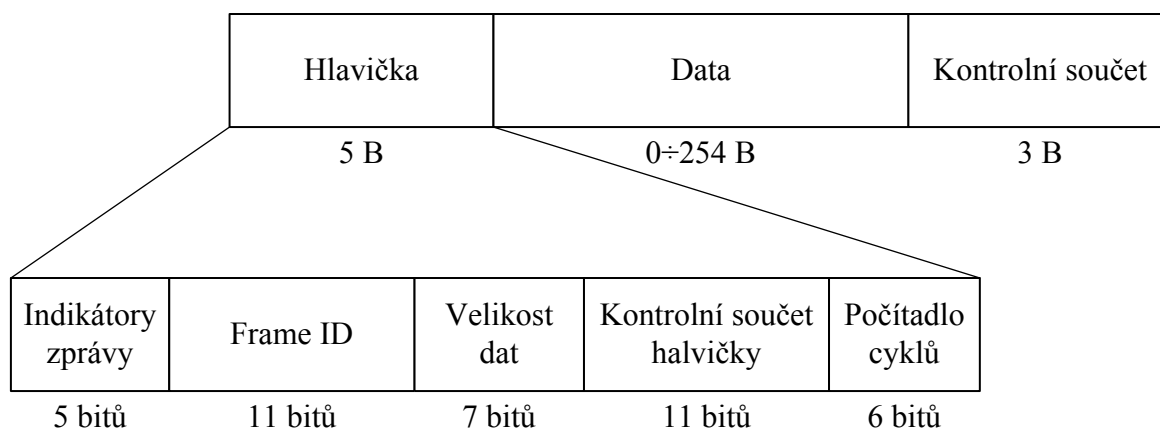
Obr. 22 Statický segment a) zaplněn, b) jedna jednotka vypadla

Dynamický segment slouží především k tomu, aby nedocházelo zbytečně k prodlužování cyklu zvyšováním počtu statických segmentů. Takže data, která není potřeba zasílat neustále, je vhodné přesunout do dynamického segmentu. Dynamický segment má danou délku a skládá se z minislots, takže množství dat je omezeno. Data s vyšší prioritou jsou odesílána blíže začátku dynamického segmentu. Když nastane počátek minislotsu má jednotka krátkou dobu na to aby odeslala data. Pokud jednotka stihne data odeslat, musí další minislot vyčkat než se data odešlou. Když dynamický segment skončí a data s nižší prioritou neměly možnost být odeslána, musí vyčkat na možnost do dalšího cyklu.



Obr. 23 Dynamický segment a) s minislotsy b) zaplněn

Data zasílaná v obou segmentech mají stejný formát, složený ze tří částí, hlavičky, dat a kontrolního součtu. Hlavička má celkem 40 bitů rozdělených do pěti částí. Tyto části jsou stavové bit, identifikátor rámce, počet datových bajtů, kontrolní součet hlavičky a počítadlo cyklů. Poté následují data a kontrolní součet dat. [4]



Obr. 24 Formát zprávy FlexRay

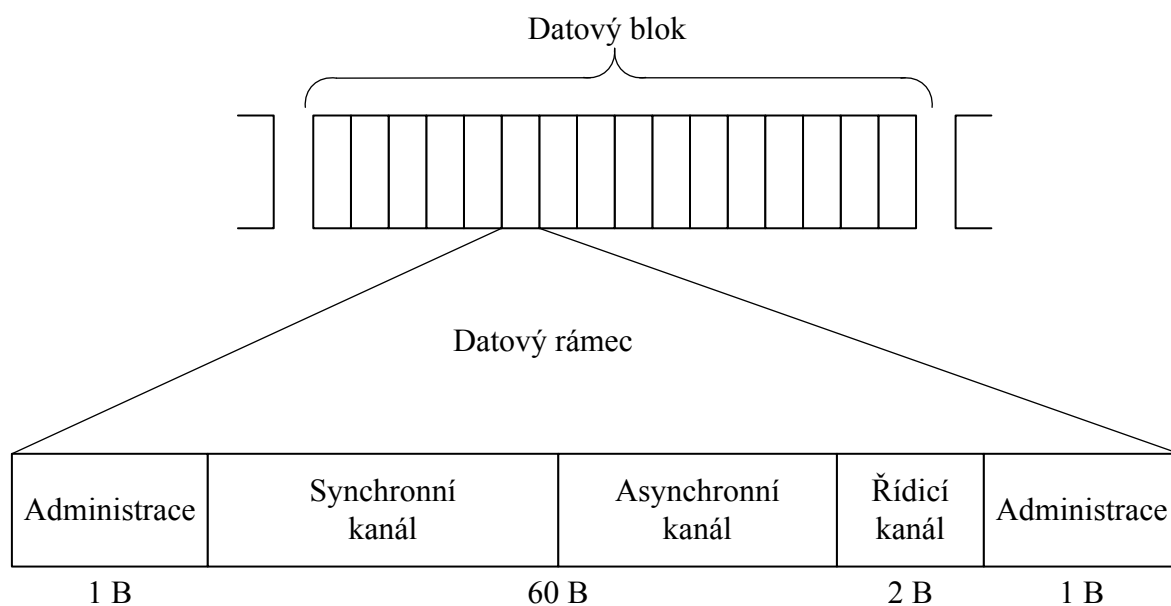
2.5 MOST

Jedná se o optickou linku určenou zejména pro multimediální rozhraní v automobilu. Odtud také zkratka MOST – Media Oriented System Transport.

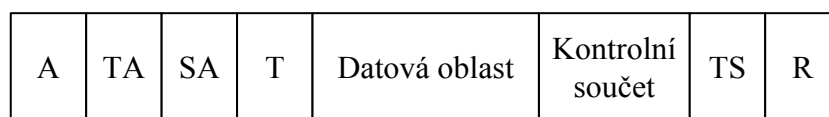
Sběrnice MOST je ve vozidlech nejčastěji zapojována do kruhu, kde komunikace je postavena na principu MASTER/SLAVE. I když jako MASTER funkci mohou plnit všechny jednotky, je k tomu vybraná jednotka s největší vybaveností. Do systému lze bez problému připojit další zařízení, aniž by to vyžadovalo softwarovou či hardwarovou přípravu celé sběrnice. Nevýhodou kruhového zapojení je v případě poruchy některé z uzlů či vedení, vypadnutí komunikace. V případě, že by vypadl některý z uzlů a vedení zůstalo neporušené, přepne se budič sběrnice v tomto uzlu do stavu přemostění. V tomto režimu uzel do komunikace nemůže nijak zasahovat a ani není přístupný ostatním uzlům. V případě poškození optického vedení, dojde i k přerušení komunikace. Znovunavázání komunikace je možné pouze po opravě vedení. Zabránit se tomu dá přidáním druhého vodiče, nicméně tohle řešení je příliš nákladné.

Hardwarovým řešením vysílače a přijímače je integrovaný obvod, který obstarává také řízení sítě, jako je správa adres, alokace kanálů a zpracovává přenášená data. Čip má vlastní oscilátor a fázový závěs, kde oscilátor se využívá u MASTER jednotky a fázový závěs využívají SLAVE jednotky k synchronizaci hodin. Ke komunikaci s nadřazeným řídicím procesorem se používá sběrnice SPI či I2C.

Data jsou na sběrnici přenášena rychlostí 44,1 kHz popřípadě 48 kHz, což odpovídá vzorkovací frekvenci audiosignálů. Volbou této frekvence odpadá nutnost použití vyrovnávacích pamětí pro přenos audiosignálů. Přenos dat je obdobný přenosu na sběrnici FlexRay. Datový blok je sestaven z šestnácti rámců, kde se jeden rámec skládá se z celkem čtyř částí, synchronní a asynchronní části, řídicího kanálu a administrativní části. Administrativní část slouží k synchronizaci jednotek a také definuje hraniční značku mezi datovou oblastí synchronní a asynchronní části. Oblast pro data má celkem 60 bajtů a rozdělena do patnácti úseků po čtyřech bajtech. Hraniční značka tedy udává kolik těchto úseků, bude v synchronní části pro data, využito. Řídicí kanál se skládá z celkem 32 bajtů, nicméně je rozdělen po dvou bajtech do každého rámcu. V řídicím kanále jsou přenášeny systémové a standardní zprávy. Standardní zprávy zajišťují komunikaci mezi aplikačními vrstvami. Systémové správy slouží k řízení datové komunikace sběrnice [5]



Obr. 25 Formát zprávy



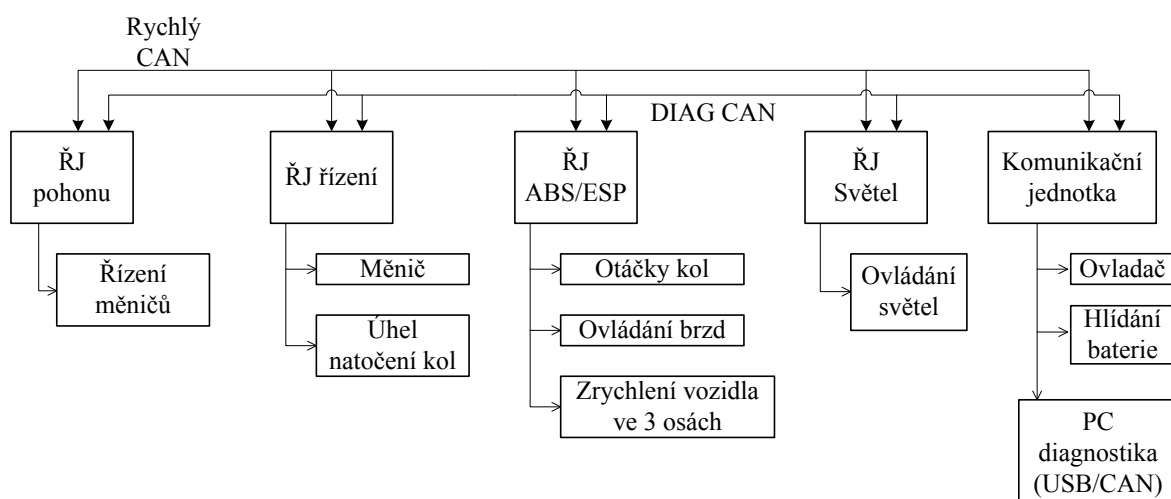
Obr. 26 Formát řídicího kanálu

3 Řešení struktury palubní sítě s diagnostickými funkcemi

Elektronický systém vozidla se bude sestávat z několika řídicích jednotek, které budou ovládat jednotlivé dílčí uzly. Vozidlo bude tedy obsahovat tolik jednotek, kolik systému bude celkem implementováno. Mezi základní uzly patří řízení pohonu, zatažení, ovládání brzd a komunikace s nadřazeným systémem.

3.1 Návrh struktury

Celkový systém bude reprezentovat sběrníkové zapojení. Vzájemná komunikace modulů bude probíhat po CAN sběrnici.



Obr. 27 Struktura zapojení systému

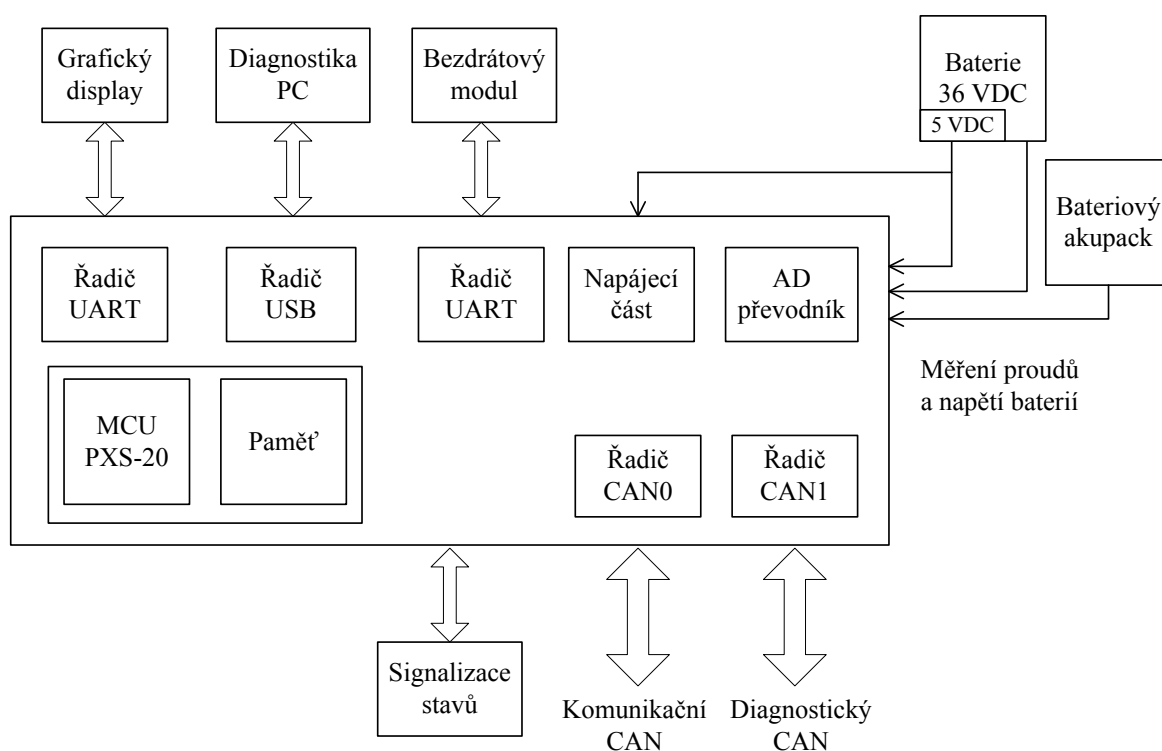
V rámci bezpečnosti byly zvoleny dvě CAN sběrnice. Jedna rychlá pro běžný provoz vozidla a druhá pomalejší pro řešení diagnostického režimu. Na rychlejší sběrnici budou zasílány požadavky pro jednotlivé uzly a aktuální hodnoty snímané jednotkami. Po CAN sběrnici určené pro diagnostiku se budou zasílat požadavky z nadřazeného systému ostatním jednotkám, aby zaslaly požadované data. Také se budou neustále zasílat důležité aktuální hodnoty, které se využijí pro vizualizaci dat na PC.

3.2 Důležité elektronické systémy

Mezi nejdůležitější elektronické uzly celé struktury jsou řídicí jednotky dílčích částí vozidla, jako je pohon, řízení, brzdový systém, osvětlení a komunikace s nadřazeným systémem.

3.2.1 Jednotka komunikace

Jednotka komunikace zajišťuje předávání informací z ovladače, popřípadě z počítače ostatním systémům. V rámci běžného provozu se jedná o příjem dat z bezdrátového modulu. Zde jsou požadavky na rychlost jízdy, úhel natočení kol, požadovaný brzdový moment a požadavek na rozsvícení určitých světel. Veškeré tyto informace následně předá ostatním systémům po komunikační sběrnici. S připojeným diagnostickým zařízením k USB portu jednotky, funguje jednotka jako převodník CAN/USB, kde posílá na sběrnici USB přijatá aktuální data z diagnostické CAN sběrnice. Dále předává požadavky na ostatní systémy o zaslání určitých informací, převážně chybových kódů.



Obr. 28 Blokové schéma komunikačního modulu

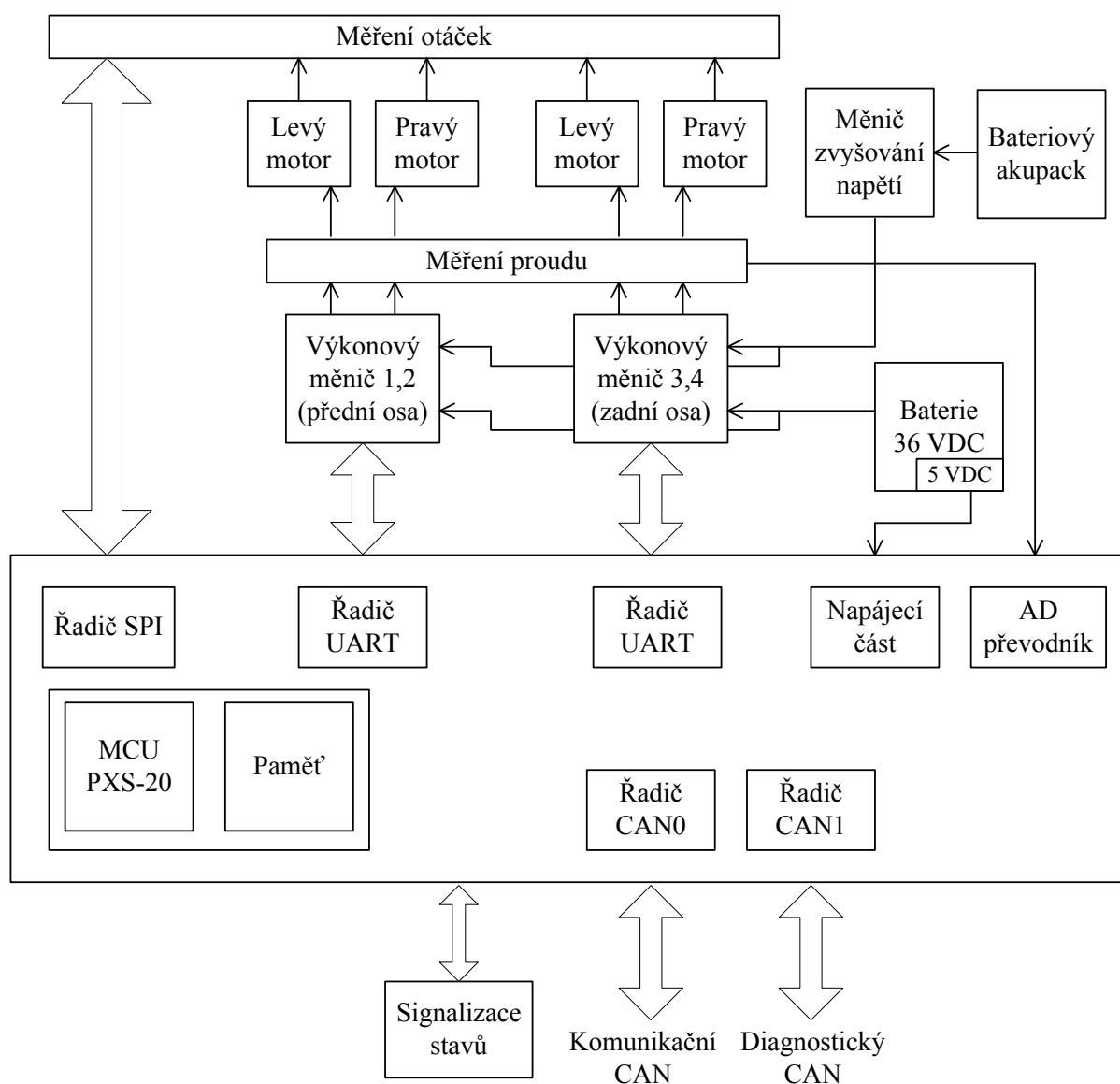
K jednotce bude také připojen grafický display, na kterém je možné zobrazovat různé stavové informace celého systému. Také bude možno vyžádat stiskem tlačítka veškeré chyby, pokud se nějaké v systému objevily.

Jednotka má dále na starosti monitoring baterií a to hlavně odebíraný proud systémy a hladinu jejich nabití, aby nedošlo k jejich poškození. V rámci tohoto režimu, může také zaslat požadavek na systémy, aby vypnuly některé své okruhy při nízkém napětí baterie.

3.2.2 Okruh pohonu

Vozidlo budou pohánět čtyři synchronní motory, řízené frekvenčními měniči. Součástí každého motoru bude enkodér pro snímání otáček a polohy, jejichž výstupy budou připojeny k řídicímu procesoru. Ten na základě informací ze snímačů a z požadovaných dat přijatých od komunikačního modulu zašle akční veličinu frekvenčnímu měniči. Také bude ovládat každý motor zvlášť, pro možnost realizace elektronického diferenciálu. Jednotka bude také odměřovat proudy jednotlivými motory a hlídat tak, aby nedošlo k jejich přetížení. Motory budou napájeny z akumulátorového packu s měničem pro zvyšování napětí.

Jednotka bude také signalizovat určité stavy systému prostřednictvím indikačních diod. Také bude docházet k nepřetržitému odesílání informací po sběrnici ostatním jednotkám. Přehled všech zasílaných dat a jejich rozsah bude představen v páté kapitole.



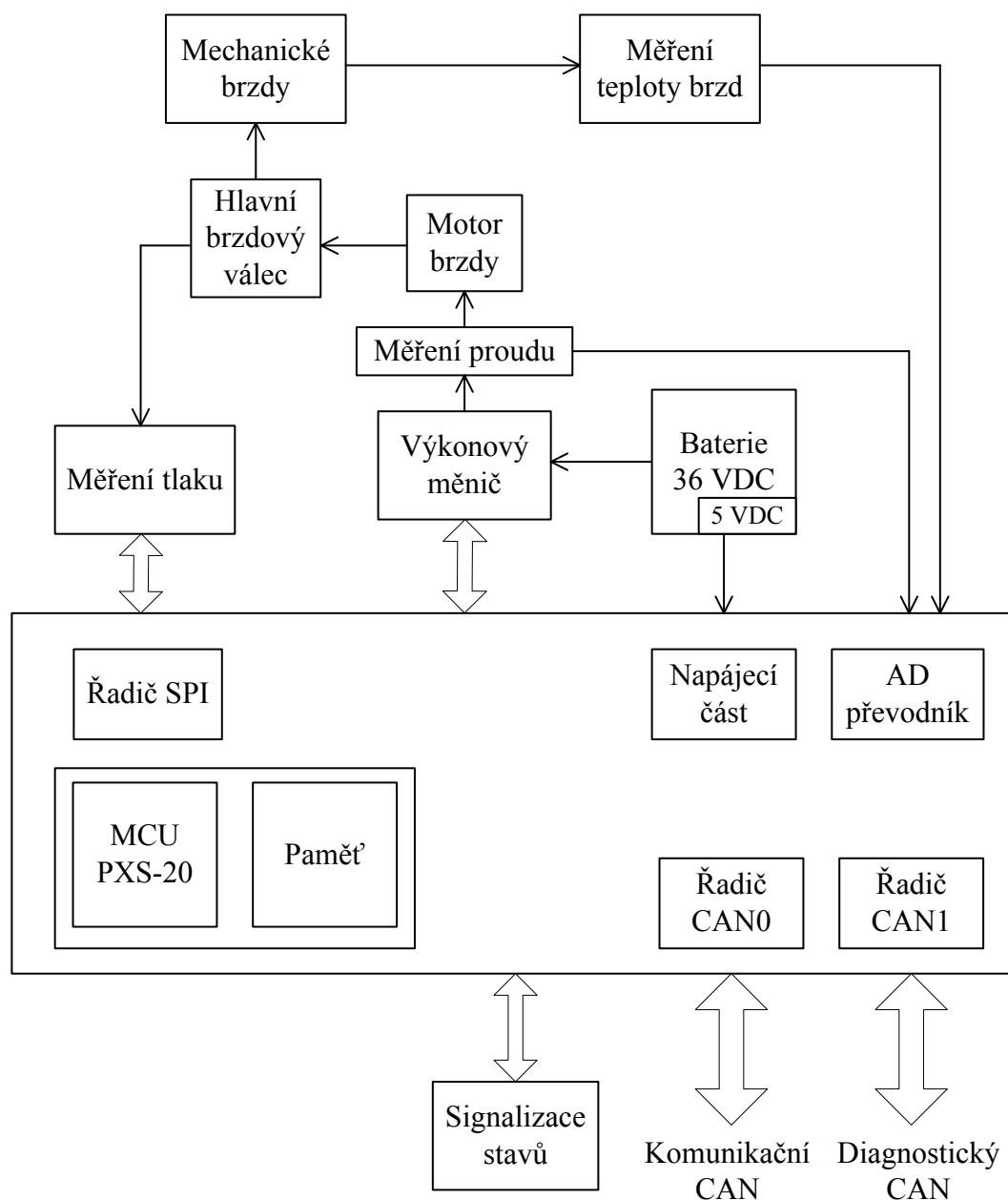
Obr. 29 Blokové schéma pohonu

3.2.3 Okruh podvozkového systému

V rámci podvozkového systému bude implementován brzdový systém ABS a systém kontroly trakce ESP. Díky tomu musí být k systému napojeny snímače otáček jednotlivých kol a snímač zrychlení ve třech osách vozidla.

Pro brzdový systém budou využity brzdy dodávány k vozidlu již z výroby. Dojde pouze k doplnění druhého hlavního brzdového válce, díky kterému bude možno ovládat dva brzdové okruhy nezávisle na sobě. Tohoto režimu bude využito v rámci systému

kontroly trakce. Pro jejich elektronické řízení bude pouze nainstalován motorek ovládající hlavní brzdový válec vyvíjející tlak v brzdovém systému. Opět bude u motoru měřen proud k hlídání jeho provozního stavu.



Obr. 30 Blokové schéma brzdového systému

Jako snímače otáček kol budou ve vozidle instalovány halovy snímače, pro jednodušší vyhodnocení rychlosti otáčení. Dále budou instalovány snímače tlaku, které budou měřit

tlak v brzdovém okruhu. Také se bude měřit oteplení brzd, aby nedocházelo k jejich přehřátí. Teplota by se měla měřit na brzdovém třmení.

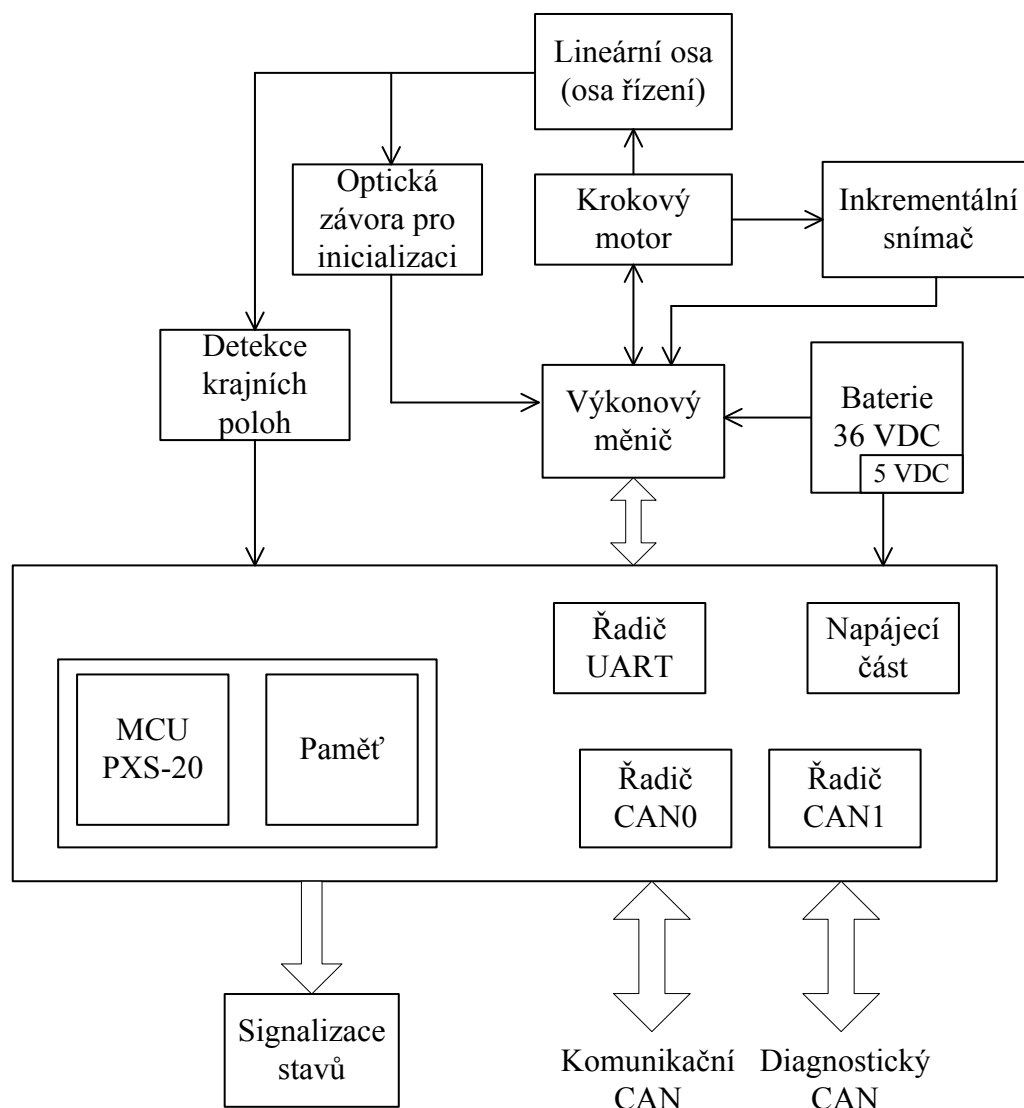
K měření osových zrychlení vozidla bude sloužit akcelerometr integrován již na hlavní řídicí desce s procesorem. Tento akcelerometr je schopen měřit zrychlení v rozsahu ± 2 , ± 4 a ± 8 g. Údaje z tohoto snímače se využijí pro systém ESP a ovládání požadované stopy vozidla.

3.2.4 Okruh řízení

Okruh řízení má na starosti natáčet koly podle požadovaného úhlu z ovladače. Toho je docíleno lineárním osou, na kterou jsou připevněny tyče řízení. Lineární osa je poháněna krokovým motorem, řízeným měničem. Dále je ke krokovému motoru připojen inkrementální snímač otáček, z jehož údajů se vypočte úhel natočení kol. K lineární ose je také připevněna optická závora sloužící k nastavení výchozího nulového úhlu natočení kol. Tato informace je přivedena pouze do řídicí jednotky krokového motoru, jelikož jednotka je schopna veškeré provozní informace zaslat nadřazeného systému po komunikační sběrnici.

U systému řízení jsou také instalovány koncové snímače, k monitorování krajních poloh, aby nedošlo ke zničení systému. Těchto snímačů je také využíváno k prvotní inicializaci systému dojetí osy k optické závoře.

Řídicí jednotka krokového motoru měří a vyhodnocuje signál z inkrementálního snímače otáček motoru a na základě těchto údajů upravuje a nastavuje požadovanou polohu jezdce osy. Jednotka je propojena s hlavním řídicím procesorem pomocí sběrnice RS 485, přes kterou dostává potřebné povely k natočení motoru, případně k zaslání systémových informací zpět procesoru.



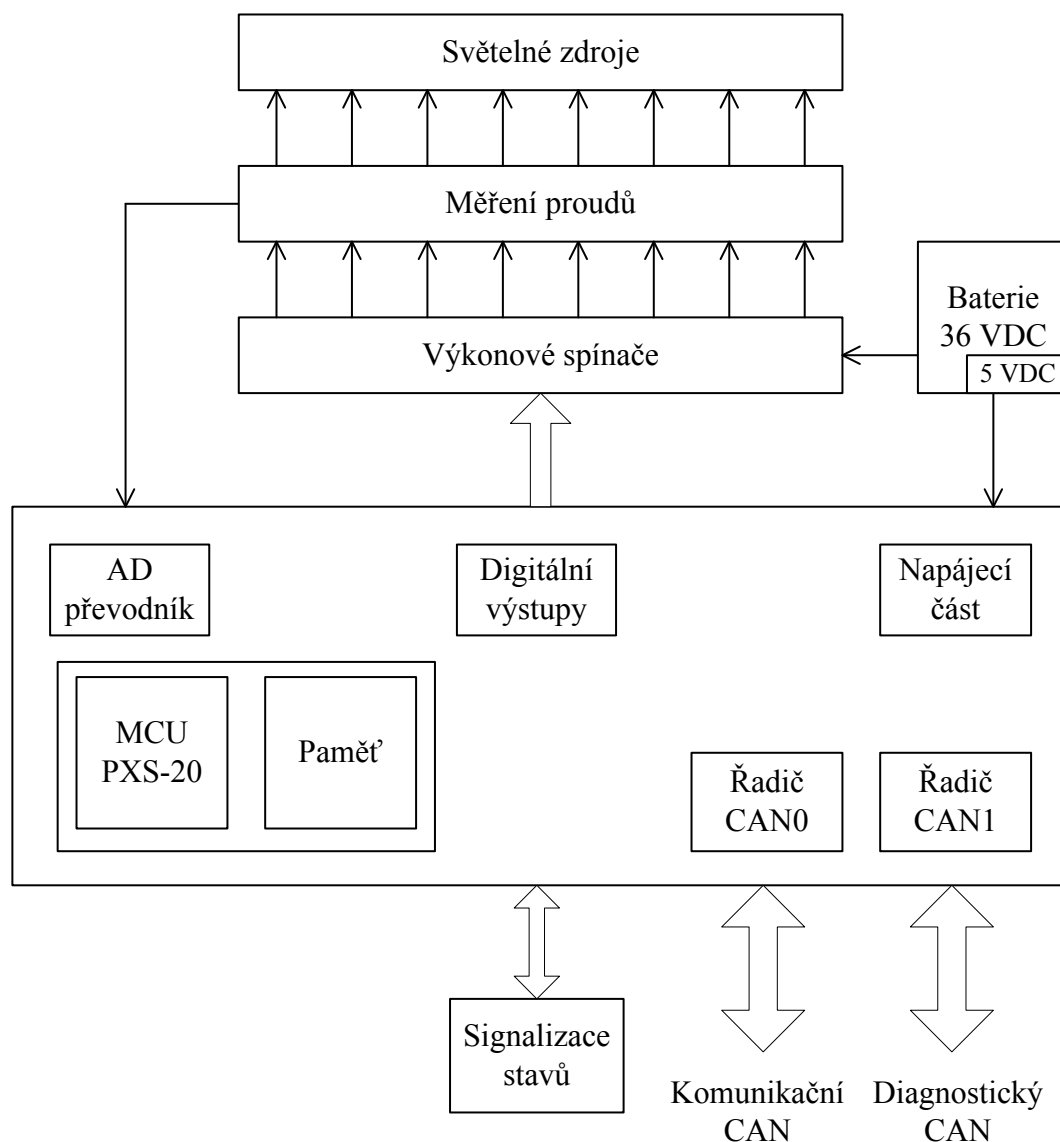
Obr. 31 Blokové schéma řízení

V budoucnu je uvažována instalace natáčení osy zadních kol, což si vyžaduje větší zásah do stávající mechaniky vozidla. Nicméně v rámci elektronického systému dojde pouze k zařazení celého systému na zadní osu, přičemž zůstane jeden hlavní řídicí procesor.

3.2.5 Okruh osvětlení

Jednotka okruhu světel bude ovládat veškeré osvětlení na automobilu, řídit časování blinkrů a podobně. Také bude mít na starosti hlídání funkčnosti jednotlivých světelných

zdrojů. V případě nefunkčnosti některé z žárovek informuje o tom uživatele. Jako světelné zdroje budou použity převážně LED diody, především z důvodu nízké spotřeby.



Obr. 32 Blokové schéma osvětlení

3.3 Diagnostické funkce self diagnostiky

Diagnostickými funkcemi se myslí schopnost detekovat chybové stavy a správnou funkčnost systému a informovat o tom uživatele. Vlastní diagnostiku systémů bude obstarávat každá jednotka sama. Bude kontrolovat meze veškerých snímačů, měřit proudy a napětí akčních členů a tím kontrolovat jejich správnou funkčnost. V případě výskytu

závady dojde k uložení do paměti informace o dané závadě společně s časovou značkou, kdy došlo k chybě. Tento čas se bude získávat z obvodu reálného času. Také se k této informaci přidají aktuálně naměřené hodnoty z ostatních snímačů, aby byla informace o stavu, při jakém došlo k dané chybě.

3.3.1 Diagnostika snímačů

V rámci diagnostiky snímačů bude docházet k porovnávání naměřených dat s předem stanovenými limity. Limitní meze budou celkem dvojího druhu. První, s nízkou kritickou hodnotou budou vyjadřovat přesahy aktuálních hodnot nad provozní mez, nicméně tyto meze nepředstavují kritický stav pro chod vozidla. Touto mezí lze také například detekovat zvýšení přechodových odporů na kontaktech.

Druhou mezí je kritická mez, kde aktuální hodnota velmi překročila stanovené hodnoty pro provozní podmínky vozidla. K této chybě může dojít při závadě na kabeláži snímače (zkrat na kostru, zkrat na napájení, přerušený vodič apod.) nebo může signalizovat vadu na daném systému, který snímač měří.

3.3.2 Diagnostika akčních členů

Diagnostika akčních členů probíhá na základě odměřování napětí a proudu protékající daným akčním členem a na základě jejich velikostí dochází k vyhodnocení funkčnosti, či nefunkčnosti prvku.

Odměřováním proudu zjistíme, zda není přerušena kabeláž nebo není někde v akčním členu rozpojen vodič (kontakt). Tohle zjistíme v případě, že je proud nulový. Také lze zjistit, že dochází k zadírání systému větším odebíraným proudem. Pokud je odebíraný proud mnohonásobně větší a nedošlo ještě k přetavení pojistky, tak podle změřeného napětí můžeme při jeho nulové hodnotě, nebo hodnotě blízko nuly, vyhodnotit zkrat v systému.

3.4 Chybové stavy, kódy

Díky vlastní diagnostice elektronických systémů vozidla je potřeba specifikovat oblasti výskytu možných chyb a jejich příslušné chybové kódy. Každému systému je přiřazen rozsah chyb s uvažování rezervních pozic pro případné doplňkové funkce.

Chybové kódy jsou rozděleny do celkem pěti skupin, kde každá skupina je přiřazena jednomu systému. Skupiny jsou od sebe rozlišeny prvním znakem. Jedná se o písmenné rozdělení, kde chybové kódy začínají prvním písmenem daného systému.

3.4.1 Pohon

U pohonu mohou nastat chyby týkající se řízení motorů, převážně frekvenčních měničů. Závady na snímačích otáček, popřípadě příliš velký odběr proudu motorů. Také může nastat závada v komunikaci s ostatními moduly.

Jelikož práce zabývající se řešením pohonu byla v době řešení této diplomové práce v přípravách, tak chyby spojené s měniči jsou pouze orientační a budou se odvíjet podle použitého systému. Nicméně toto nebrání nastavit přehled chybových kódů, které mohou v tomto systému nastat, bez ohledu na typu měniče. Mezi závady spojené s frekvenčními měniči lze určit chyby na komunikaci jednotky s měničem a závady v samotném měniči, pokud to měnič umožňuje. Může se jednat například o poruchu výkonového prvku, nebo o závadu na budicím obvodu.

Poté lze detekovat chyby na samotných motorech, jako je přerušeno vinutí motoru, nebo zkrat na vinutí, oxidace kontaktů, díky které vzroste jejich přechodový odpor. Veškeré tyto závady lze zjistit měřením proudů a napětí. Jelikož bude systém také vybaven snímači otáček motoru, může se i na nich vyskytnout závada. Zde může dojít k chybě na vedení či samotném snímači. Jelikož se jedná o inkrementální snímač otáček s výstupy A a B fázově posunuty, tak lze určovat chybu na samotném vnitřním systému snímače odměřováním a porovnáváním časových průběhů stop. Nicméně toto je zdlouhavé a zbytečné, jelikož se jedná o průmyslově vyráběné snímače, do kterých v mnoha případech nelze zasahovat, tak v našem případě bude dostačující pouze měřit napájecí proud, či

napětí a na jejich základě usuzovat zda se jedná o závadu či nikoli. Tímto lze zjistit zkrat na vedení popřípadě jeho přerušení. Také, když snímač neposkytuje žádnou informaci v okamžiku, kdy se motor otáčí, je jasné, že se jedná o jeho závadu a je vhodné danou chybu zaznamenat.

Další závady budou shodné i u ostatních systémů a to chyba na komunikačních sběrnicích CAN a závada na napájecím systému.

Tab. 3 Chybové kódy jednotky pohonu

P0	snímač otáček motoru 1	P9	podpětí motoru 2
P1	snímač otáček motoru 2	P10	podpětí motoru 3
P2	snímač otáček motoru 3	P11	podpětí motoru 4
P3	snímač otáček motoru 4	P12	chyba komunikace s měničem 1
P4	nadproud motoru 1	P13	chyba komunikace s měničem 2
P5	nadproud motoru 2	P14	nízké palubní napětí
P6	nadproud motoru 3	P15	chyba CAN komunikace
P7	nadproud motoru 4	Pxx	rezervováno
P8	podpětí motoru 1		

3.4.2 Řízení

U systému řízení jsou závady získané především z řídicí jednotky, která ovládá krokový motor lineárního vedení. Jednotka zasílá zpět osm chybových kódů. Některé se týkají oblastí komunikace jako například špatně zadaný příkaz. Tyto chyby nás v rámci diagnostiky nezajímají, důležité jsou pouze tři informační stavy, chyba komunikace, přetížení a nedovolený pohyb.

Jelikož je snímač úhlu natočení integrován v lineárním vedení, je řešení jeho funkčnosti v rámci řídicí jednotky krokového motoru. Nás nadále zajímá chování koncových snímačů, kde lze určit jejich funkčnost. Z technického řešení a prvotních testů lze určit, zda koncové snímače fungují správně z kontroly nastaveného úhlu natočení, kdy je tento úhel větší nebo roven hodnotě, která byla mechanicky nastavena a odměřena při instalaci systému.

Jelikož hlavní jednotka řízení je opět samostatný modul, tak i na tomto systému mohou nastat chyby na komunikačních linkách nebo také na napájecím systému jednotky.

Tab. 4 Chybové kódy jednotky řízení

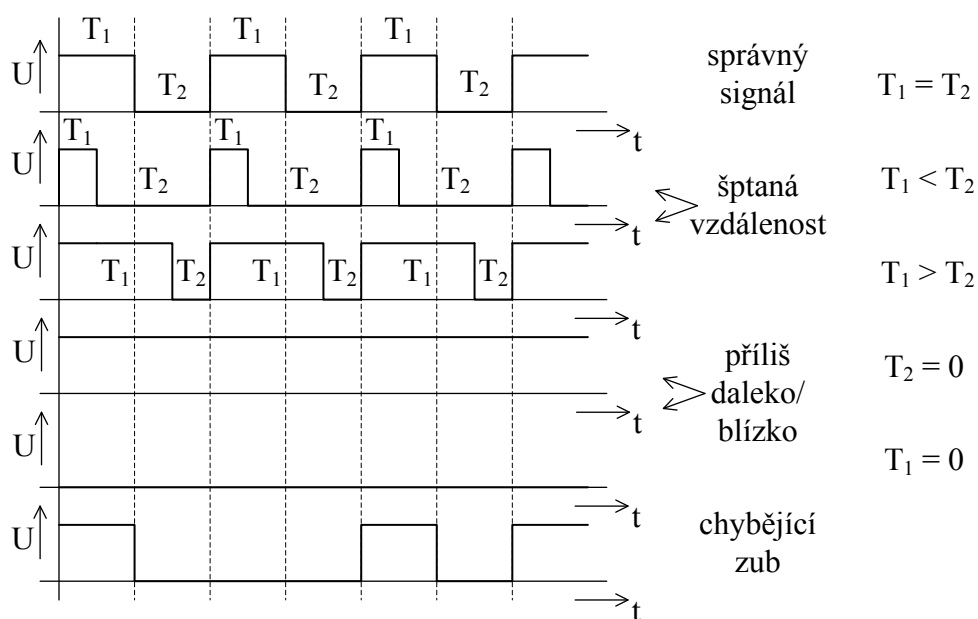
R0	chyba snímače úhlu natočení
R1	nízké palubní napětí
R2	chyba CAN komunikace
R3	za levou kraní pozicí
R4	za pravou krajní pozicí
R5	chyba komunikace s jednotnou oturu
R6	přetížení motoru
R7	nedovolený pohyb
Rxx	rezervováno

3.4.3 Podvozek

V rámci podvozkového systému se můžeme setkat především se závadami na brzdovém systému, na snímačích otáček kol, snímači osových zrychlení vozidla a opět na CAN sběrnici.

U snímačů otáček kol lze detekovat jednak závady na samotných snímačích popřípadě i na měřicím ozubeném kole. Předpokládáme osazení systému halovými snímači otáček, především z důvodu snadného měření a výpočtu otáček. U takových snímačů lze zaznamenat závadu v podobě nepřesného průběhu, jako je malý rozkmit napětí, což může být způsobeno velkými přechodovými odpory na kontaktech, nebo závadou vlastního snímače. Také v případě, že ze snímače nemáme žádnou informaci a podle ostatních systému by měl snímač dávat požadovaný signál, může být opět závada v kabeláži, (rozpojený kontakt, přetržený vodič), nebo vadný snímač. Z průběhu také určíme závadu na měrném ozubeném kole. Určit lze chybějící zub nebo také velikost vzduchové mezery. Chybějící zub se projeví v počtu pulsů na jednu otáčku, to znamená, že by daný puls měl mít šíři dvou a více pulsů, v závislosti na počtu chybějících zubů. Tato chyba lze například detekovat odměřováním šířky pulsů. Špatná vzdálenost vzduchové mezery se projeví délkou kladného nebo záporného pulsu. Toto lze opět určit odměřením doby trvání

jednotlivých pulsů a jejich srovnáním. Pokud bude vzduchová mezera příliš malá nebo velká, tak výstupní signál bude konstantní a to buď nulová hladina, nebo napájecí. Toto je zase závislé na typu použitého snímače.



Obr. 33 Závada snímače otáček kola

Další závadou může být chyba na motoru vytvářejícím tlak v brzdovém systému. Zde může dojít k přerušení nebo ke zkratu na vinutí motoru. Také může být opět chyba na vedení. První detekcí závady na této části systému je informace o nízkém tlaku brzdové kapaliny. Tyto závady lze opět detekovat odměřováním proudů a napětí na motoru. Pokud došlo ke zkratu na motoru lze naměřit nadproud případně velmi nízké napětí. V případě přerušení vinutí je hodnota proudu nulová. Také může dojít k úniku brzdové kapaliny, čímž se sníží tlak v brzdovém systému.

Dále lze řešit závadu na snímači zrychlení. Tento snímač, komunikuje s hlavním řídicím procesorem, přes SPI sběrnici. Zde lze pouze zjistit chybu v rámci nefunkčnosti snímače a to tak, že snímač nekomunikuje.

Tab. 5 Chybové kódy jednotky podvozku

C0	snímač otáček PP kola	C8	nízké palubní napětí
C1	snímač otáček PZ kola	C9	chyba CAN komunikace
C2	snímač otáček LP kola	C10	opotřebené brzdové destičky kola 1
C3	snímač otáček ZP kola	C11	opotřebené brzdové destičky kola 2
C4	chyba tlaku 1	C12	opotřebené brzdové destičky kola 3
C5	chyba tlaku 2	C13	opotřebené brzdové destičky kola 4
C6	nadproud brzdného motoru 1	Cxx	rezervováno
C7	nadproud brzdného motoru 2		

3.4.4 Světla

V případě světel může nastat závada na daném světle nebo chyba v komunikaci s ostatními jednotkami. Detekce závad na jednotlivých žárovkách lze provádět několika způsoby. Vezme-li v potaz, že bude vozidlo osazeno klasickými žárovkami, tak závadnou může být přetržený žhavicí drát, odtud, naměřením nulového proudu, zjistíme závadu. Také se dá určit podle proudu menšího, než nominální, že může být na některém z kontaktů velký přechodový odpor. Pokud se bude jednat o žárovky s LED, tak zde lze naměřit navíc i nadproud, vlivem průrazu LED, který představuje zkrat na dané diodě.

V tomto okruhu je počet chyb dán počtem použitých světel, to znamená, že každá žárovka bude mít svůj vlastní chybový kód. Další kódy jsou přiřazeny stejně jako v předešlých uzlech závadě na některé z CAN sběrnici a také na napájecím okruhu.

Tab. 6 Chybové kódy jednotky světel

S0	malé palubní napětí
S1	chyba CAN komunikace
SXX	závady na jednotlivých žárovkách počet závislý na počtu světel
Sxx	rezervováno

3.4.5 Komunikační jednotka

Komunikační musí hlídat, zda všechny jednotky komunikují a pokud dojde ke ztrátě komunikace s některou z jednotek, uloží chybu do paměti závad a zkusí s ní navázat kontakt po druhé sběrnici. Pokud ani v tomto případě nenastane komunikace, musí jednotka odeslat ostatním jednotkám požadavek na „centrál stop“. Stejně tak i daná jednotka, se kterou nelze navázat komunikaci, musí celý svůj systém uvést do klidu a vypnout jej. Ztrátou komunikace by totiž mohlo dojít k závažné nehodě, například jednotka pohonu by mohla jet dále stejnou rychlostí a nereagovat tak na požadavky na zastavení, popřípadě by jednotka podvozku nezastavila včas vozidlo.

Jednotka má také na starost monitorovat odebíraný proud z baterií. Velikost tohoto proudu je předem stanovena dle instalovaných zařízení na vozidle a jejich maximálním dovoleným odběrem. V případě, že by byl odebíraný proud mnohem vyšší, mohlo by dojít k poškození baterií. V tomto případě jednotka musí opět uvědomit ostatní jednotky o vypnutí svých systémů a zaznamenat závalu do paměti.

Tab. 7 Chybové kódy jednotky světel

K0	malé palubní napětí
K1	chyba CAN komunikace (vlastní jednotce)
K2	chyba CAN komunikace s jednotkou pohonu
K3	chyba CAN komunikace s jednotkou podvozku
K4	chyba CAN komunikace s jednotkou světel
K5	nadproud odebíraný z baterie
Kxx	rezervováno

4 Návrh elektroniky a softwarová implementace

Při návrhu elektroniky je nutno brát v úvahu i budoucí možnost rozšíření systému a náročnost jednotlivých uzlů na softwarové řešení.

4.1 Elektronický systém

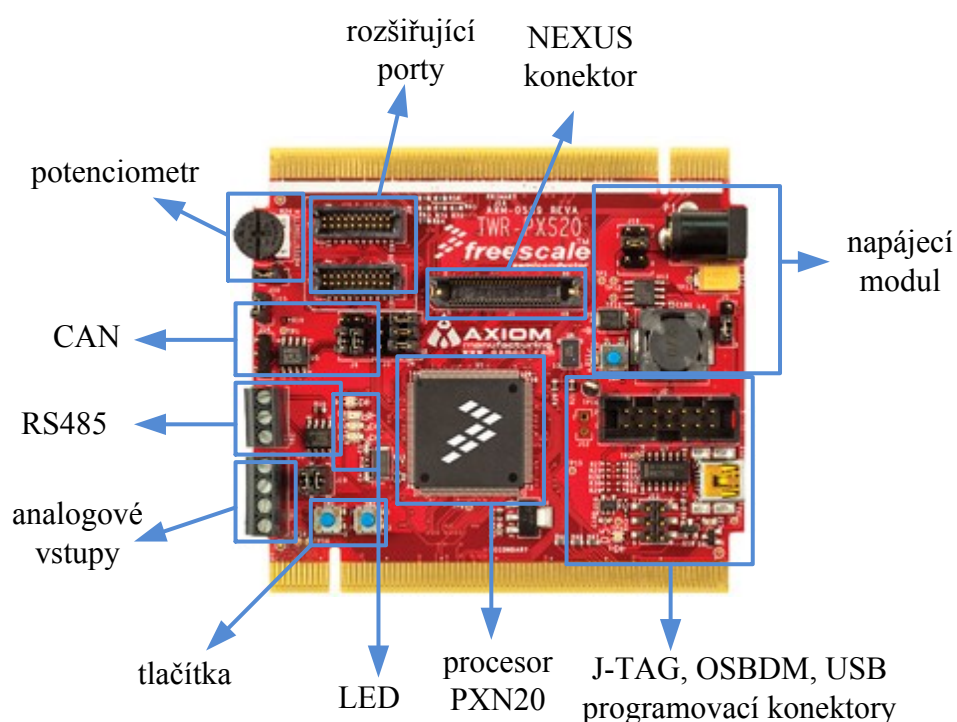
Jako elektronický systém byl zvolen vývojový kit firmy Freescale z důvodu rychlého nasazení ve vozidle. Zvolil se TOWER systém TWR-PXS20, u kterého lze libovolně měnit požadované periferie a je zde rychlé doplnění o další požadované funkce. Základ tvoří procesorová deska, ke které se následně připojují další systémy jako například modul vstupů/výstupů, grafický display, modul přídavných senzorů či univerzální deska, na kterou lze napájet vlastní obvody.

4.1.1 Popis procesorové desky

Základem procesorové desky je řídicí obvod PXS20. Jedná se o 32 bitový procesor pracující na frekvenci až 120 MHz s 1 MB FLASH pamětí pro program a data a 128 KB SRAM pamětí pro data. Procesor také disponuje nespočtem periferií, mezi nejdůležitější pro náš účel je driver sběrnice CAN, UART a SPI. Dále také obsahuje řadu časovačů, generátoru PWM a analogově digitální převodník.

Na desce se dále nachází JTAG programátor/debugger připojitelný přes USB port k počítači, nebo lze procesor programovat přes externí JTAG programátor nebo využít k programování NEXUS konektor.

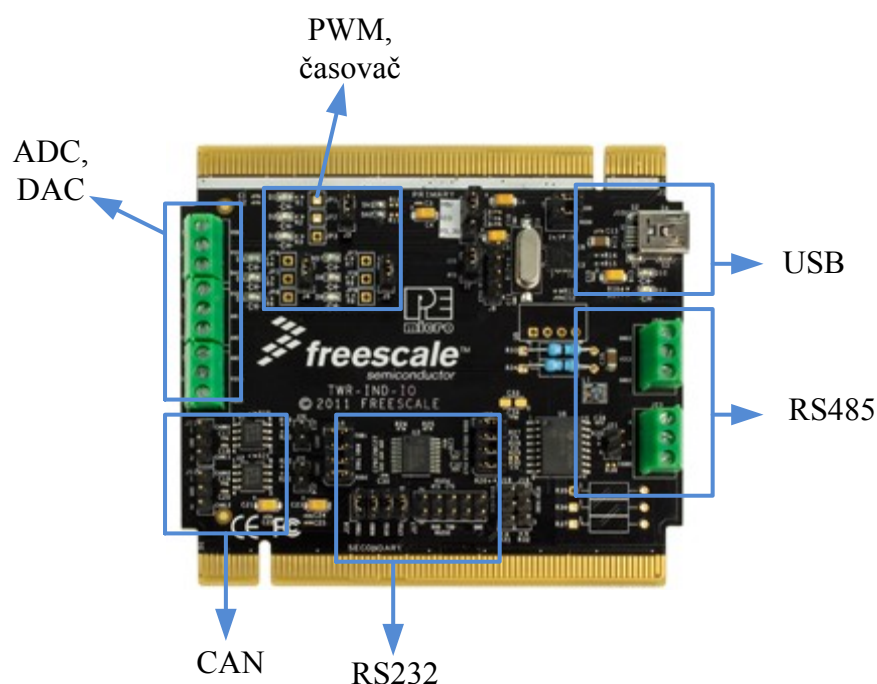
Desku je možno napájet přes USB port z počítače popřípadě připojit externí 5 V zdroj. K dispozici je také konektor k připojení sběrnice CAN či RS485 nebo připojení externích analogových vstupů. Dále deska obsahuje řadu LED diod, tlačítka popřípadě trimr k ladění aplikací. [6]



Obr. 34 Procesorová deska

4.1.2 Modul vstupů/výstupů

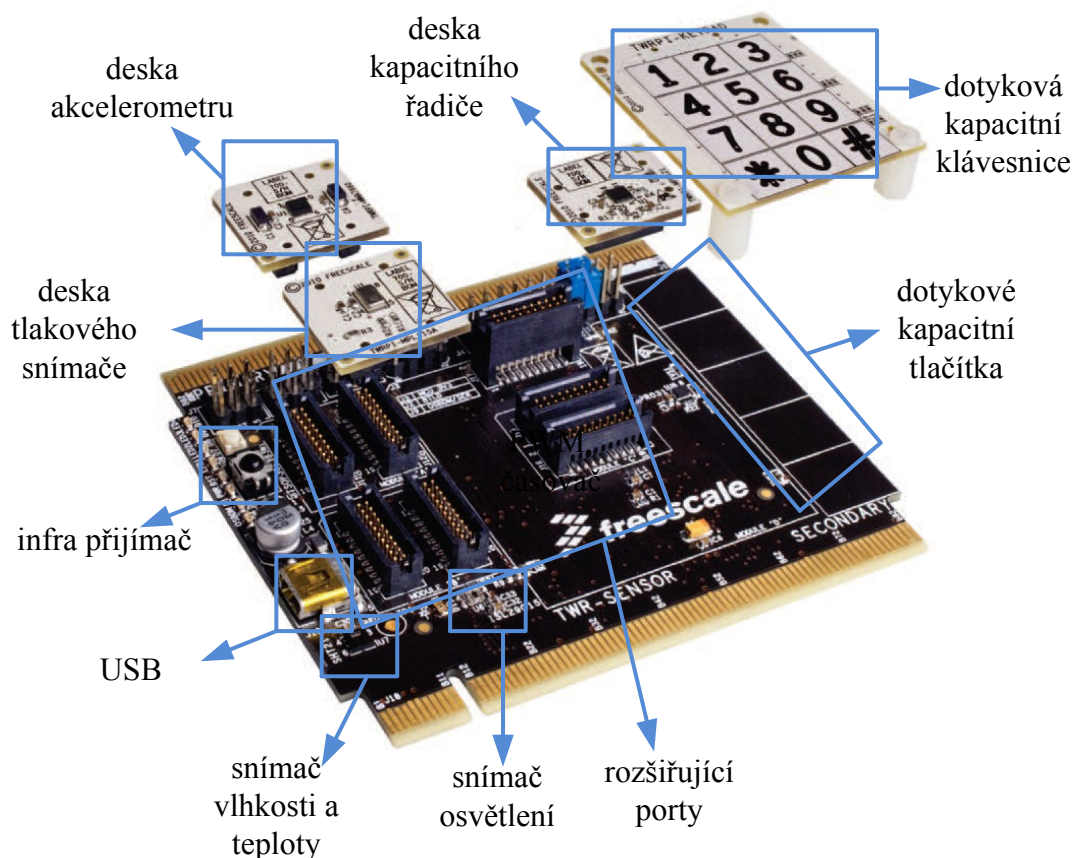
Tato deska obsahuje datové sběrnice typu RS232, RS485, USB a CAN. Na desce je také implementováno šest PWM portů a tři časovače. Dále jsou také k dispozici tři vstupy analogově digitálního převodníku, jeden analogový výstup a digitální vstupy/výstupy. [7]



Obr. 35 Deska vstupů/výstupů

4.1.3 Senzorický modul

Jedná se o desku s vyměnitelnými senzorickými moduly a periferiemi. K desce je možno připojit snímač absolutního tlaku s digitálním výstupem. Snímač je schopen měřit tlak od 50 do 115 kPa. Lze také připojit akcelerometr, nicméně tento snímač není pro nás důležitý, jelikož je již implementován v základní desce. Modul také disponuje kapacitními dotykovými snímači, které lze využít u komunikačního modulu k nastavení různých režimů a zadávání požadavků. [8]



Obr. 36 Deska senzorů

4.2 Softwarová implementace

Z důvodu volby 32bitového řídicího systému a celkové náročnosti aplikace byl zvolen operační systém, který se bude starat o správu paměti, systému přerušení a správu periférií. Vzhledem k tomu, že hlavní řídicí procesor je od firmy Freescale, byl zvolen i operační systém od této firmy s názvem MQX 3.8.

4.2.1 Popis operačního systému

Operační systém MQX (dále jen OS) je operační systém reálného času upraven firmou Freescale pro jejich procesory. Jedná se o knihovni systém funkcí. OS obsahuje jádro nevolitelných komponent a volitelné komponenty. Jádro obsahuje inicializační proceduru spouštěnou při startu programu. Ta má na starosti inicializaci hardwaru, spuštění OS a procesů, definovaných jako „autostart task“ neboli procesy spouštěné po startu OS. Dále je

v jádru implementována správa paměti, jednoduchá správa přístupu ke sdíleným zdrojům (semafony). V jádře je také obsažena správa procesů, jako je jejich přepínání a kontrola chyb. Jako přídatná komponenta může být například obsluha přerušení, rozšířena správa procesů.

Nejdůležitější přídatnou komponentou jsou ovladače periférií. Ty obsahují jejich nastavení a řešení jednoduchého přístupu uživatele k danému modulu. Jako příklad poslouží jednoduchý popis ovladače pro CAN sběrnici. V tomto ovladači je vyřešeno nastavení řadiče, obsluha příjmu a zaslání zpráv a paměť příchozích a odchozích dat. Vše se řeší pouze zavoláním příslušné funkce, které jsou předány parametry. Tímto odpadá potřeba znalosti veškerých registrů. [9]

4.2.2 Nastavení a implementace OS

Pro prvotní nastavení a přidání operačního systému do projektu je potřeba do vývojového studia vložit potřebné soubory jednoduchým přetažením souboru „twrpxs20.wsd“, který se nachází v adresáři: „C:\Freescale\Freescale MQX 3.8\config\twrpxs20\cw10“. Tímto dojde k nainportování potřebných souborů. Poté je potřeba upravit soubor „user_config.h“, ve kterém si zvolíme veškeré potřebné periferie, které chceme využívat v naší aplikaci. Pro nás je důležité povolit SPI sběrnici a ovladač pro zápis do flash paměti.

4.2.3 Implementace CAN protokolu

Samotná implementace komunikačního protokolu spočívá v nastavení CAN komunikace, vyřešení příjmu a odesílání zpráv, přípravy dat k odeslání a rozkodování přijatých dat. Každé jednotce je přiděleno několik identifikátorů. Jejich počet je závislý na množství a velikosti odesílaných dat.

Příjem a odesílání dat jsou řešeny jako dva nezávislé procesy, spouštěné v hlavní smyčce. V obou procesech jsou implementovány funkce pro všechny jednotky. Při programování dané jednotky je zapotřebí vždy nadefinovat o jakou jednotku se jedná a kompilátor podle definice rozpozná, která část kódu se má implementovat. Příkaz, kterým řekneme, o kterou jednotku se jedná, je: (příklad definice jednotky pohonu)

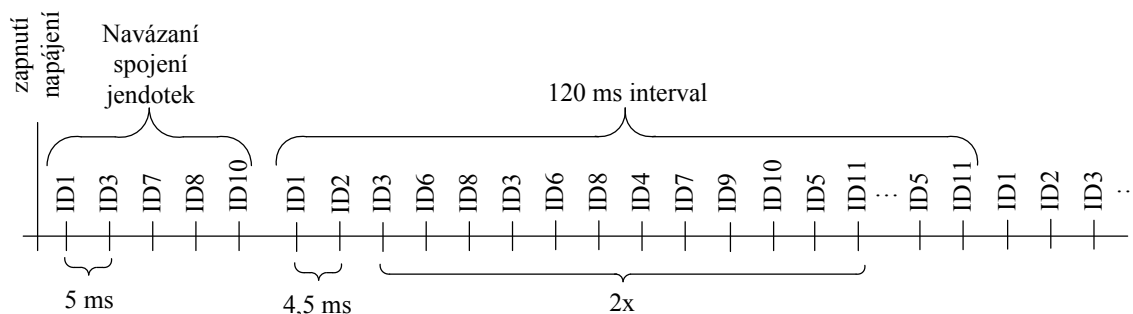
```
#define DRIVE_UNIT
```

Podle tohoto nadefinovaného jména se na základě IF THEN podmínky vyberou potřebné části kódů. Tohoto se využívá pro definice datových struktur, funkcí obstarávajících přípravu dat k odeslání a zpracování přijatých dat a také části kódu, kde se jednotlivé funkce volají.

Dále je uveden příklad deklarace funkcí k přípravě a přijetí dat. Jedná se o funkce přiřazené komunikační jednotce a jednotce pohonu. Těmto funkcím se předává pointer na datovou strukturu, ve které se nachází veškerá data k dané jednotce. Předává se také pointer na datový blok, který se odešle na sběrnici a identifikátor dané zprávy.

```
#ifndef COM_UNIT
uint_32 CAN_InitializeDefaults(COM_UNIT_DATA_PTR data);
uint_32 CAN_Parse_MSG_COM(COM_UNIT_DATA_PTR data, uchar* msg, uint_32 id);
uint_32 CAN_Prep_MSG_COM(COM_UNIT_DATA_PTR data, uchar* msg, uint_32 id);
#endif
#ifndef DRIVE_UNIT
uint_32 CAN_Parse_MSG_DRIVE(DRIVE_UNIT_DATA_PTR data, uchar* msg, uint_32 id);
uint_32 CAN_Prep_MSG_DRIVE1(DRIVE_UNIT_DATA_PTR data, uchar* msg, uint_32 id);
uint_32 CAN_Prep_MSG_DRIVE2(DRIVE_UNIT_DATA_PTR data, uchar* msg, uint_32 id);
uint_32 CAN_Prep_MSG_DRIVE3(DRIVE_UNIT_DATA_PTR data, uchar* msg, uint_32 id);
#endif
```

Také je vyřešen přístup jednotlivých jednotek na sběrnici. Každé jednotce je přesně přiřazena doba, kdy a která data má odeslat. Nejprve dojde k odeslání požadovaných hodnot jednotkou komunikace, posléze dojde k odeslání zprávy s aktuální rychlostí vozidla. Poté jednotka podvozku odešle informace o zrychleních vozidla a otáčkách kol a následně úhel natočení kol. K odeslání těchto dat dojde ještě jednou a posléze se odešlou otáčky motorů, tlaky v brzdových okruzích a poslední data jsou proudy motorů a proudy světelnými okruhy. Časový přehled přístupů jednotek na sběrnici je na následujícím obrázku. Přiřazení identifikátorů jednotkám je v Tab. 8



Obr. 37 Struktura přístupu jednotek na sběrnici

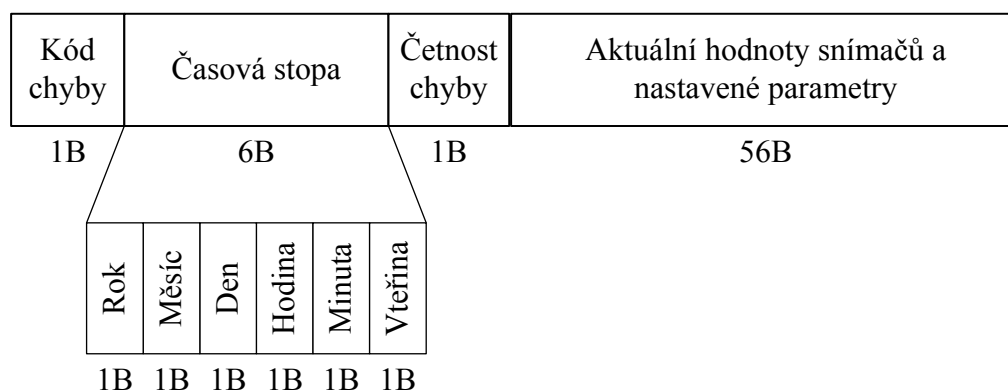
Tab. 8 Identifikátory jednotek

Jednotka	Standardní identifikátor	Diagnostický identifikátor
Komunikace	ID1 100	150
	ID2 200	250
Pohonu	ID3 300	350
	ID4 400	450
	ID5 500	
Podvozku	ID6 600	550
	ID7 700	650
Řízení	ID8 800	750
	ID9 900	850
Světél	ID10 1000	950
	ID11 1100	1050

4.2.4 Implementace softwarové diagnostiky

V rámci softwarové diagnostiky je řešena kontrola snímačů a akčních členů. U snímačů se jedná o srovnávání hodnot s dříve naměřenými pro celý rozsah, kde jsou snímače nainstalovány. Pokud bude aktuální hodnota ze snímače převyšovat některou z předem stanovených mezí, запиše se tento údaj do tabulky. Obdobně je řešena kontrola akčních členů. Zde je pouze rozdíl v tom, že je potřeba nastavit akční člen na určitou hodnotu a odměřit veškeré veličiny. Jedná se o proud či napětí potřebné k aktivaci daného členu. Také je zapotřebí změřit výstup akčního členu, například úhel natočení či vysunutí jádra. Veškeré tyto hodnoty se následně srovnají s tabulkovými. To znamená, jakému akčnímu zásahu by měl odpovídat výstup a při jakém odběru proudu akčního členu. Pokud by některý z údajů nesouhlasil, dojde opět k zápisu chyby do tabulky.

K ukládání těchto dat je vytvořena tabulka o tisíci řádcích a 64 sloupcích. Každý řádek bude reprezentovat, výskyt jedné chyby. S každou další chybou se bude zapisovat do dalšího řádku. To znamená, že se musí také uchovávat proměnná, udávající číslo řádku, do kterého je možné zapsat. V případě naplnění tabulky, dojde k přepisování nejstarších dat. V každém řádku tedy bude uložen kód chyby o velikosti 1B, časová stopa o šesti bajtech a ve zbylých buňkách aktuálně změřené veličiny. Také se bude ukládat informace o velikosti jednoho bajtu, která udává četnost výskytu a status dané chyby. Například zda se jedná o sporadickou chybu, nebo zda je závada kritická.



Obr. 38 Struktura paměti uložení chyb

5 Struktura přenášených dat a ověření systému

V této kapitole bude rozepsán přehled přenášených dat jednotkami, jejich velikost a rozsah jednotlivých hodnot. Také bude provedeno jednoduché ověření systému, pomocí převodníku USB2CAN a monitorovacího prostředí PP2CAN.

5.1 Přenášená data

Aby bylo možné správně řídit celé vozidlo, musí být přenášeno velké množství dat s určitou přesností. Nejdůležitějšími informacemi jsou především rychlost vozidla, úhel natočení kol a osově zrychlení vozidla.

Komunikační jednotka musí zasílat především požadavky na ostatní systémy jako požadovaná rychlost, brzdňý moment, úhel natočení kol a rozsvícení patřičných světel. Požadavek na úhel je zasílán s přesností na dvě desetinná místa v rozsahu $\pm 64^\circ$. Řídicí jednotka řízení odpovídá na tento úhel ve stejném formátu. Požadavek na brzdy je představován velikostí tlaku v brzděném systému. Zde dochází k odeslání dat ve formě jednotek Pascalu a to v rozsahu od 0 do 65 000 Pa. Dále je potřeba říci jakou rychlostí se má vozidlo pohybovat. Tahle hodnota se pohybuje v rozmezí 0 až 65 km/h a je odesílána s přesností na tři desetinná místa. Ještě jedna musí odeslat také požadavek na jednotlivé světelné okruhy, zde se bude odesílat pouze bitová informace, který z okruhu má být rozsvícen.

Jednotce komunikace je také zapotřebí zaslat informaci o aktuální spotřebě systémů a z tohoto důvodu se zasílají proudy odebírané systémy. Jednotka světel odesílá velikost proudu odebíraného jednotlivými okruhy v rozsahu od 0 do 1 400 mA. Také jednotka řízení zasílá velikost odebíraného proudu v rozsahu 0 až 3 000 mA. Ve stejném rozsahu se bude také zasílat proud motory vytvářející brzdňý tlak. Největší spotřebu budou představovat hnací motory. Jelikož v době řešení návrhu těchto údajů, byla práce zabývající se pohony ve stádiu rozpracování, nebyl znám přesný typ pohonu. Nicméně k posouzení spotřeby se vycházelo z práce zabývající se pohonem vozidla Kaipan, kde byla stanovena spotřeba na 10 A na jeden motor. [10] Odtud je také stanoven rozsah odesílaného proudu motory na 15 A jedním motorem s přesností na tři desetinná místa.

Další hodnoty, zasílané na sběrnici jsou předávány jednotkou pohonu. Jedná se aktuální rychlost vozidla a otáčky motorů. Odesílaná rychlost vozidla se pohybuje od 0 do 65 km/h s přesností na šest desetinných míst. Otáčky motorů se budou zasílat s přesností na celá čísla v rozsahu od 0 do 2 000 otáček za minutu. Dalšími otáčkami vyskytujícími se na sběrnici jsou otáčky kol, ty se pohybují v rozmezí od nuly do 600 otáček za minutu a jsou přenášeny s rozlišením na 20 ot/min. Ještě se přenáší informace o velikosti osových zrychlení vozidla ve všech třech osách. Tyto hodnoty jsou zasílány v rozmezí $\pm 1,2$ g s přesností na dvě desetinná místa. Veškerá výše uvedená data jsou přehledně rozepsaná v následující tabulce a rozdělena podle jednotlivých okruhů, které je odesílají.

Tab. 9 Přehled přenášených dat

Veličina	Rozsah
Jednotka komunikace	
Rychlost vozidla	0 ÷ 65,000 km/h
Brzdný tlak	0 ÷ 65 000 Pa
Úhel natočení kol	$\pm 64,00^\circ$
Požadavek na světla	zapnuto/vypnuto
Jednotka pohonu	
Rychlost vozidla	0 ÷ 65,000 000 km/h
Otáčky motorů	0 ÷ 2 000 ot/min
Proudy motorů	0 ÷ 15,000 A
Jednotka podvozku	
Osové zrychlení vozidla	$\pm 1,20$ g
Otáčky kol	0 ÷ 600 ot/min
Brzdný tlak	0 ÷ 65 000 Pa
Proud motory	0 ÷ 3 000 mA
Jednotka řízení	
Úhel natočení kol	$\pm 64,00^\circ$
Proud motorem	0 ÷ 3 000 mA
Jednotka světel	
Proud světelnými okruhy	0 ÷ 1 400 mA

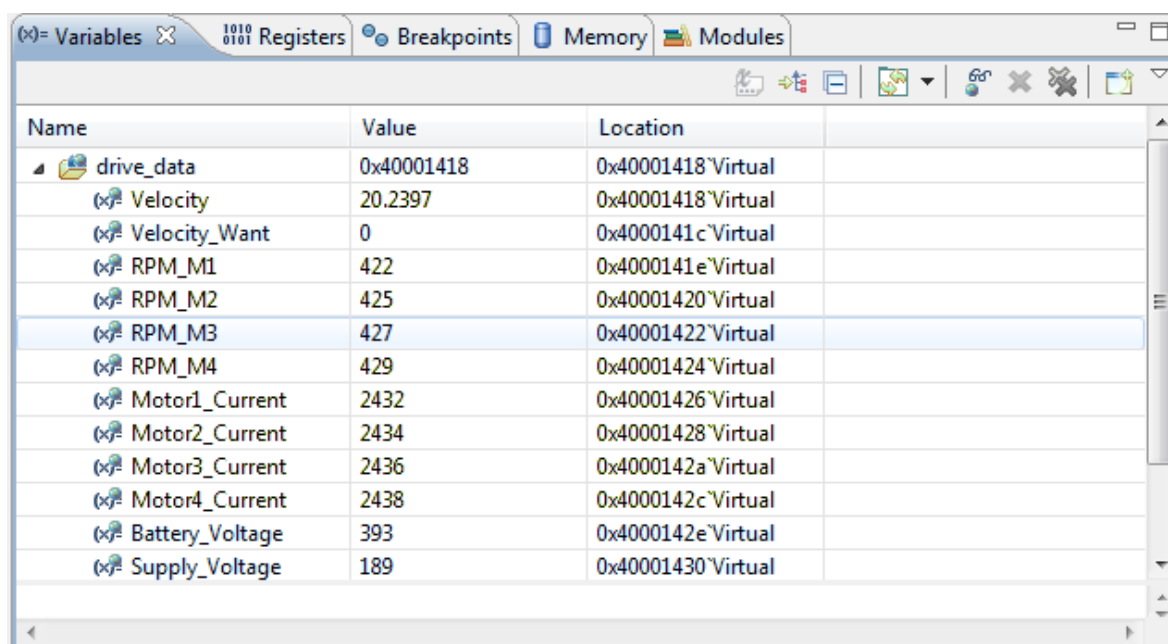
Počet a velikost všech přenášených dat neodpovídá přesně počtu navržených identifikátorů. Identifikátorů je navrženo více, než je přenášená reprezentace výše uvedených hodnot. Jedná se především o předběžný návrh dat a jejich velikostí, důležitých pro provoz systému. Zbylé volné místo ve zprávách, je zvoleno s uvažováním budoucích možností přidání některých parametrů vhodných k předání jiným jednotkám po sběrnici. Takto nebude zapotřebí upravit komunikační protokol a rozšířit datový přenos o další identifikátory.

5.2 Ověření systému

Ověření funkčnosti systému probíhá pomocí převodníků z USB na CAN sběrnici USB2CAN a software PP2CAN. Pomocí tohoto programu lze monitorovat data, která jsou na sběrnici a také odesílat data. Jedná se o jednoduché prostředí, ve kterém lze vidět v okně příchozích zpráv pořadové číslo příchozí zprávy a čas kdy byla zpráva přijata s přesností na jednotky milisekund. Dále se zobrazuje, zda jde o rozšířený či standardní identifikátor a hodnota tohoto identifikátorů. Nejdůležitějšími údaji jsou počet bajtů ve zprávě a hodnoty v jednotlivých bajtech. V druhém okně, jsou odchozí zprávy. Styl zobrazení je shodný s oknem pro příchozí zprávy, pouze s rozdílem, že je zde odchozí čas.

V režimu pro odesílání zpráv je možno nastavit libovolný identifikátor, počet odesílaných bajtů a hodnoty v těchto bajtech. Také je možno kontinuální odesílání dat na sběrnici s určitou periodou v rozsahu od 10 milisekund do jedné vteřiny.

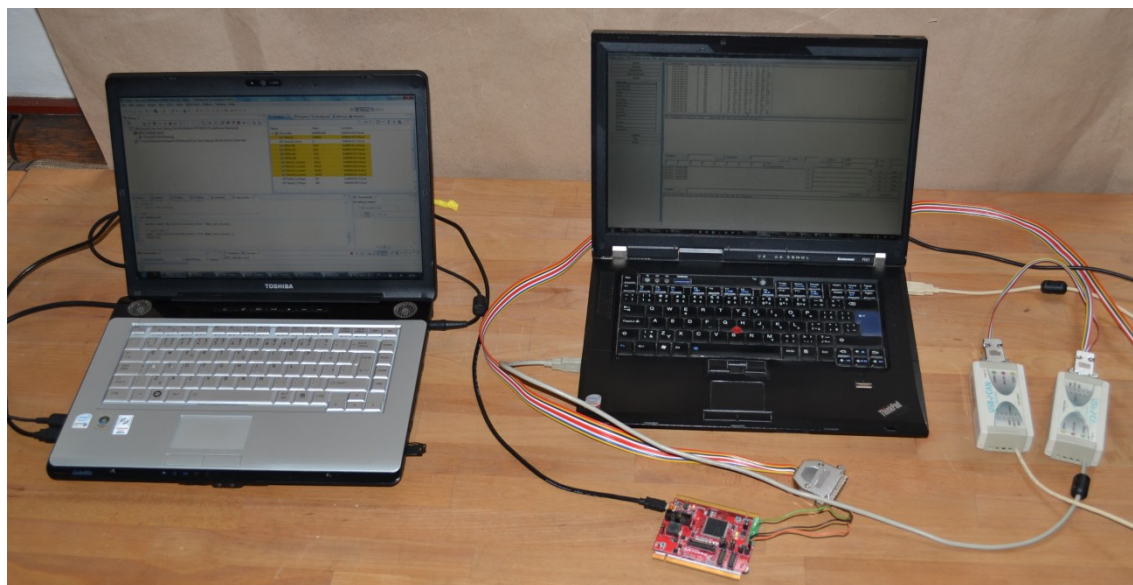
Navrhovaný systém byl ověřen pro všechny režimy zasílání zpráv jednotkami, nicméně pro názornost je zde uvedeno ověření funkce jednotky pohonu. Tato jednotka má za úkol odeslat celkem tři odlišné zprávy v různých časech. Nejprve odešle dvakrát po sobě s časovou prodlevou tří milisekund zprávu s identifikátorem 300. Následně po dalších třech milisekundách odešle zprávu s identifikátorem 400. Jako poslední je odeslán identifikátor 500 s časovým odstupem čtyř milisekund. Celý řetězec se opakuje co dvě milisekundy od posledního identifikátoru. Jelikož se jedná zatím pouze o simulaci systému, který nic neovládá, je v jednotlivých datových polích hodnota, která se s časovou prodlevou inkrementuje. Výběr těchto hodnot by měl simulovat reálné hodnoty, které se budou v tomto systému vyskytovat.



Obr. 39 Odeslaná data

N...	Received time	Info	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Port
14...	10:47:7.328:0.00		St	400		8	1	210	1	210	1	210	1	210	1
14...	10:47:7.314:0.00		St	300		8	20	24	44	83	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.301:0.00		St	300		8	20	24	42	85	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.288:0.00		St	500		8	9	158	9	158	9	158	9	158	1
14...	10:47:7.268:0.00		St	400		8	1	204	1	204	1	204	1	204	1
14...	10:47:7.254:0.00		St	300		8	20	24	36	90	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.228:0.00		St	500		8	9	152	9	152	9	152	9	152	1
14...	10:47:7.208:0.00		St	400		8	1	198	1	198	1	198	1	198	1
14...	10:47:7.194:0.00		St	300		8	20	24	32	93	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.181:0.00		St	300		8	20	24	30	95	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.168:0.00		St	500		8	9	146	9	146	9	146	9	146	1
14...	10:47:7.148:0.00		St	400		8	1	192	1	192	1	192	1	192	1
14...	10:47:7.134:0.00		St	300		8	20	24	26	98	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.121:0.00		St	300		8	20	24	25	0	1	89	189	0	1
14...	10:47:7.108:0.00		St	500		8	9	140	9	140	9	140	9	140	1
14...	10:47:7.88:0.00		St	400		8	1	186	1	186	1	186	1	186	1
14...	10:47:7.74:0.00		St	300		8	20	24	21	0	1	89	189	0	1

Obr. 40 Data na sběrnici



Obr. 41 Fotografie testování systému

6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout možné řešení důležitých elektronických systémů pro řízení elektromobilu s využitím diagnostických funkcí. Dalším požadavkem byl návrh komunikačního protokolu mezi jednotlivými jednotkami s následným ověřením jeho funkcí. Všechny tyto úkoly byly během řešení práce dosaženy.

Třetím bodem zadání bylo stanovení instrukcí pro budoucí integraci navržené struktury v elektromobilu. Tento požadavek je splněn, jelikož byla práce řešena s uvažováním instalace jednotlivých systémů v elektromobilu. Zároveň s tím má být v daném elektromobilu implementován navržený software pro komunikaci mezi jednotkami a realizace uchovávání možných chyb systému s jejich možností zaslání uživateli.

Řídicí systém byl vybrán z důvodu vysokého nároku na zpracování dat a regulaci. Výhodou tohoto řešení, je také možnost rychlého rozšíření systému o další funkce zásuvnými kartami. Nicméně nevýhodou je málo obsáhlá dokumentace a podpora pro daný systém. Je to dáno především tím, že se jedná o poměrně nové řešení. Toto vedlo k časovému zdržení softwarové implementace. Tento neduh se odrazil při realizaci časového přístupu na sběrnici, kde nebylo za současných znalostí možné zkrátit dobu mezi jednotlivými identifikátory. Při sestavování přenášených dat jednotkami, byl brán zřetel na přesnost těchto veličin a datovou náročnost sběrnice

7 Citovaná literatura

1. LIN BUS ZBĚRNICE. *Sběrnice*. [Online] [cit 2013-3] Dostupné z www: <<http://www.carmotor.cz/alternativa-linbus/>>.
2. CAN BUS SBĚRNICE. *Sběrnice*. [Online] [cit 2013-3] Dostupné z www: <<http://www.carmotor.cz/can-bus-sbernice-co-je-to/>>.
3. CAN - popis struktury. *Sběrnice*. [Online] [cit 2013-3] Dostupné z www: <<http://www.carmotor.cz/popis-sbernic/>>.
4. FlexRay Automotive Communication Bus Overview. *National Instrumets*. [Online] [cit 2013-4] Dostupné z www: <<http://www.ni.com/white-paper/3352/en>>.
5. MOS BUS. *Sběrnice*. [Online] [cit 2013-4] Dostupné z www: <<http://www.carmotor.cz/mos-sbernice-pro-multimedia/>>.
6. *TWR-PXS20 User Guide*. [Uživatelská příručka]: Axiom Manufacturing, 2011. DOC-0559-010, rev A.
7. TWR-IND-IO: Industrial I/O Tower System Module. *Freescale*. [Online] [cit 2013-5] Dostupné z www: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=TWR-IND-IO>.
8. TWR-SENSOR-PAK: Sensor and Plug-Ins Tower System Module. *Freescale*. [Online] [cit 2013-5] Dostupné z www: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=TWR-SENSOR-PAK>.
9. *Freescale MQX Real-Time Operating System*. [Uživatelská příručka]: Freescale, 2012.

10. Ing. David Slivka, Ph.D. *Metody řízení asynchronního motoru v pohonné jednotce silničního vozidla*. [Disertační práce] Ostrava , 2012.
11. *Freescale MQX™ RTOS Reference Manual*. [Referenční manuál]: Freescale, 2011.
12. *Freescale MQX™ I/O Drivers*. [Uživatelská příručka]: Freescale, 2011.